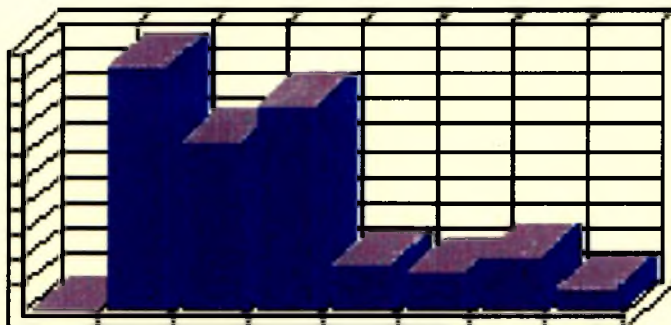




# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



**Διπλωματική εργασία**

***«Το απόθεμα ασφάλειας έναντι του χρόνου προειδοποίησης  
αβέβαιων παραγγελιών»***

**Επιμέλεια θέματος : Αλέξης Δουγέκος**

**Επιβλέπων : Δρ. Γιώργος Λυμπερόπουλος**

**Βόλος, Οκτώβριος 2000**

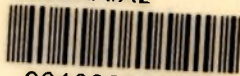


224/2000 ΠΑ

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 729/1  
Ημερ. Εισ.: 06-10-2000  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜΒ  
2000  
ΔΟΥ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000062135

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται το απόθεμα ασφάλειας έναντι του χρόνου προειδοποίησης ενός συστήματος basestock ενός σταδίου με ακύρωση της ζήτησης. Η μελέτη του συστήματος στοχεύει στον υπολογισμό των τιμών των βασικών παραμέτρων, για τις οποίες ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος του συστήματος.

Συγκεκριμένα εξετάζεται η συμπεριφορά του βέλτιστου αποθέματος ασφάλειας και του βέλτιστου χρόνου προειδοποίησης, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το μέσο κόστος διατήρησης αποθεμάτων και έλλειψης ζητήσεων του συστήματος. Η βελτιστοποίηση των παραμέτρων του συστήματος στηρίζεται σε αποτελέσματα που προκύπτουν από τη προσομοίωση του συστήματος, η οποία πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού προσομοίωσης ARENA.

Στην εισαγωγή της εργασίας γίνεται αναφορά στη προσομοίωση και στα συστήματα έλεγχου της παραγωγής και συγκεκριμένα στα ωθούμενα (push) και στα ελκούμενα (pull) συστήματα έλεγχου της παραγωγής. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί περιγράφεται αναλυτικά το σύστημα basestock με ένα στάδιο και ακύρωση της ζήτησης, οι παράμετροι οι οποίες εξετάζονται καθώς και οι παραδοχές που λαμβάνονται υπόψη. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται λεπτομερώς το σύστημα και παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάστηκε το μοντέλο στο οποίο στηρίζεται η προσομοίωση.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης καθώς επίσης και μια εναλλακτική πολιτική ελέγχου, η οποία εφαρμόστηκε στο ίδιο σύστημα. Με την εφαρμογή αυτής της πολιτικής ελέγχου διαπιστώθηκε ότι το σύστημα δεν επιτυγχάνει κατάσταση μόνιμων συνθηκών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται και αναλύεται ένα σύστημα basestock με προθεσμία επιβεβαίωσης της παραγγελίας και ακύρωση της ζήτησης, καθώς επίσης τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα, τα οποία προκύπτουν από τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων του. Επιπλέον επιβεβαιώνεται η υπόθεση ότι για μια από τις δυο οριακές τιμές της προθεσμίας επιβεβαίωσης της ζήτησης προκύπτει το σύστημα, το οποίο εξετάστηκε στην προηγούμενη περίπτωση.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση και σύγκριση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη των συστημάτων που εξετάστηκαν. Επίσης γίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα σε αυτού του είδους τα συστήματα.

Τέλος ακολουθούν δυο παραρτήματα στο πρώτο από τα οποία παρουσιάζεται η βιβλιογραφία, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, ενώ στο δεύτερο περιλαμβάνονται ενδεικτικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων των συστημάτων που μελετήθηκαν.

---

---

*... στους γονείς μου  
και στα αδέρφια μου*

---

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις πιο θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας **Δρ. Γ. Λυμπερόπουλο**, Επίκουρο Καθηγητή και Διευθυντή του εργαστηρίου Οργάνωσης Παραγωγής και Βιομηχανικής διοίκησης, για την πολύτιμη και ουσιαστική καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης της παρούσας εργασίας.

Επίσης αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές Π. Παναγίτσα και Π. Τρυφονόπουλο για την συμπαράσταση που μου προσέφεραν και την άριστη συνεργασία την οποία είχαμε. Επιπλέον επιθυμώ να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα του τμήματος, Σ. Κουκούμιαλο για την πολύτιμη βοήθεια του.

Ολοκληρώνοντας την παράγραφο αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου και τα αδέρφια μου για όλα όσα μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	<b>7</b>
<b>Εισαγωγή</b>	<b>8</b>
1.1 Εισαγωγή στην προσομοίωση	8
1.2 Συστήματα ελέγχου της παραγωγής	9
1.3 Ωθούμενα συστήματα ελέγχου της παραγωγής (push)	9
1.4 Ελκυόμενα συστήματα ελέγχου της παραγωγής (pull)	10
• Σύστημα kanban	10
• Σύστημα conwip	11
• Σύστημα basestock	11
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	 <b>12</b>
<b>Περιγραφή του συστήματος</b>	<b>13</b>
2.1 Περιγραφή του συστήματος basestock με ακύρωση της παραγγελίας	13
2.2 Παράμετροι του συστήματος	15
2.3 Παραδοχές του συστήματος	16
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	 <b>17</b>
<b>Ανάλυση του συστήματος</b>	<b>18</b>
3.1 Το λογισμικό προσομοίωσης ARENA	18
3.2 Κατασκευή του μοντέλου	18
3.3 Έλεγχος της ορθότητας του μοντέλου	20
3.4 Report αποτελεσμάτων της προσομοίωσης	21

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....</b>	<b>34</b>
<b>Βελτιστοποίηση του συστήματος και αποτελέσματα.....</b>	<b>35</b>
4.1 Διαδικασία βελτιστοποίησης.....	35
4.2 Πειραματική διαδικασία και αποτελέσματα.....	35
4.3 Μια εναλλακτική πολιτική ελέγχου.....	56
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....</b>	 <b>60</b>
<b>Σύστημα με προθεσμία επιβεβαίωσης της ζήτησης.....</b>	<b>61</b>
5.1 Περιγραφή του συστήματος.....	61
5.2 Αποτελέσματα της προσομοίωσης.....	62
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....</b>	 <b>69</b>
<b>Συμπεράσματα.....</b>	<b>70</b>
6.1 Ανάλυση και σύγκριση αποτελεσμάτων.....	70
6.2 Γενικά συμπεράσματα.....	83
6.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	84
 <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....</b>	 <b>85</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>86</b>
 <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....</b>	 <b>87</b>
<b>Ενδεικτικά αποτελέσματα προσομοιώσεων ARENA.....</b>	<b>88</b>



---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Εισαγωγή στην προσομοίωση

Με τον όρο προσομοίωση εννοούμε τη μίμηση της λειτουργίας μιας πραγματικής διαδικασίας ή ενός συστήματος συναρτήσει του χρόνου. Η προσομοίωση συνεπάγεται τη δημιουργία ενός τεχνητού συστήματος και την παρατήρηση αυτού με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με τα χαρακτηριστικά των λειτουργιών του πραγματικού συστήματος.

Η συμπεριφορά ενός συστήματος καθώς εξελίσσεται στη διάρκεια του χρόνου εξετάζεται μέσω του προσομοιωτικού μοντέλου. Το μοντέλο αυτό αποτελείται από ένα σύνολο υποθέσεων και παραδοχών, σχετικά με τη λειτουργία του συστήματος. Οι παραδοχές εκφράζονται με μαθηματικές λογικές και συμβολικές σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων του συστήματος. Μετά την δημιουργία και την επιβεβαίωση της εγκυρότητας ενός μοντέλου, αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξετάσει ένα πλήθος ερωτημάτων που αφορούν το πραγματικό σύστημα. Πιθανές αλλαγές στο πραγματικό σύστημα μπορούν πρώτα να προσομοιωθούν με στόχο να προσδιοριστούν οι επιδράσεις τους στην απόδοση του συστήματος. Επίσης η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη του συστήματος στο στάδιο του σχεδιασμού, πριν δηλαδή κατασκευαστεί. Επομένως η μοντελοποίηση μέσω προσομοίωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα ως αναλυτικό εργαλείο για την πρόβλεψη των αποτελεσμάτων που επιφέρουν αλλαγές στο υπάρχον σύστημα και ως σχεδιαστικό εργαλείο για τον προσδιορισμό της απόδοσης νέων συστημάτων υπό ποικίλες συνθήκες.

Σε πολλές περιπτώσεις το δημιουργούμενο μοντέλο μπορεί να είναι αρκετά απλό ώστε να είναι επιλύσιμο με μαθηματικές μεθόδους. Τέτοιες λύσεις μπορούν να προκύψουν με χρήση διαφορικού λογισμού θεωρίας πιθανοτήτων, αλγεβρικών μεθόδων ή άλλων μαθηματικών τεχνικών. Η λύση συνήθως αποτελείται από ένα ή περισσότερα αριθμητικά μεγέθη, τα οποία καλούνται μέτρα απόδοσης του συστήματος. Όμως πολλά πραγματικά μοντέλα είναι αρκετά πολύπλοκα με αποτέλεσμα τα αντίστοιχα μοντέλα τους να είναι ουσιαστικά αδύνατα να λυθούν μαθηματικά. Σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται προσομοίωση βασισμένη σε υπολογιστή για τη μίμηση της συμπεριφοράς του συστήματος συναρτήσει του χρόνου. Από την προσομοίωση συγκεντρώνονται εικονικά δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των μέτρων απόδοσης του συστήματος.

## 1.2 Συστήματα έλεγχου της παραγωγής

Ένα σύστημα παραγωγής αποτελείται από μέσα παραγωγής που εκτελούν εργασίες πάνω σε υλικά για να παράγουν τελικά προϊόντα, τα οποία πρόκειται να παραδοθούν σε πελάτες. Ο αποτελεσματικός έλεγχος της παραγωγής είναι αποφασιστικός παράγοντας για την ανταγωνιστικότητα του συστήματος. Ο έλεγχος της παραγωγής είναι ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης, το οποίο αποσκοπεί στο να απαντήσει στο ερώτημα ποτέ και πόσο να παράγει το σύστημα, έτσι ώστε να επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό επίπεδο εξυπηρέτησης των πελατών ενώ ταυτόχρονα να διατηρείται μικρό απόθεμα ενδιάμεσων ή τελικών προϊόντων. Μια ρεαλιστική προσέγγιση για τον έλεγχο της παραγωγής είναι να αποσυνθέσουμε το σύστημα παραγωγής σε υποσυστήματα ή σταδία και να ορίσουμε ένα μηχανισμό που να συντονίζει την εισαγωγή εξαρτημάτων σε κάθε στάδιο με την άφιξη ζητήσεων για τελικά προϊόντα. Τα σπουδαιότερα συστήματα έλεγχου παραγωγής και αποθεμάτων, που χρησιμοποιούνται σήμερα χωρίζονται σε δυο κατηγορίες. Στα ελκούμενα (pull) και στα ωθούμενα (push) συστήματα.

## 1.3 Ωθούμενα συστήματα έλεγχου της παραγωγής (push)

Στα ωθούμενα συστήματα ελέγχου παραγωγής η ζήτηση ωθεί την παραγωγή τελικών προϊόντων. Σε αυτά τα συστήματα η έναρξη της παραγωγικής διαδικασίας δε στηρίζεται στη ζήτηση αλλά στη πρόβλεψη αυτής. Συγκεκριμένα, η παραγωγική διαδικασία ξεκινάει σε κατάλληλο χρονικό σημείο τέτοιο ώστε, το προϊόν να είναι έτοιμο στο χρόνο που απαιτεί η ημερομηνία παράδοσης της ζήτησής του, αφού πρωτίστως έχει προηγηθεί η διαδικασία πρόβλεψης της μελλοντικής ζήτησης.

Η βελτιστοποίηση αυτών των συστημάτων στηρίζεται στο χρόνο, στον οποίο γίνεται η έναρξη της παραγωγής. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες και αποτελεί την μεταβλητή απόφασης για το σύστημα. Στόχος μας είναι να υπολογίσουμε τις κατάλληλες τιμές του χρόνου υστερήσεις (lead time) ώστε να επιτευχθούν οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας του συστήματος προκειμένου αυτό να ανταποκρίνεται καλύτερα στις εξωτερικές ζητήσεις. Σε περιπτώσεις όπου η ζήτηση είναι γνωστή, οι χρόνοι υστέρησης εκφράζουν το χρόνο παραμονής ενός προϊόντος στη γραμμή παραγωγής κάθε σταδίου (Work In Progress). Συχνά όμως η πρόβλεψη της ζήτησης δεν ανταποκρίνεται με ακρίβεια στην πραγματική ζήτηση, με αποτέλεσμα το σύστημα να αποτυγχάνει να ικανοποιήσει την ζήτηση στον προκαθορισμένο χρόνο προειδοποίησης.

## 1.4 Ελκυσόμενα συστήματα έλεγχου της παραγωγής (pull)

Σε αντίθεση με την πολιτική έλεγχου που ακολουθείται στα ωθούμενα συστήματα, υπάρχουν πολιτικές όπου η παραγωγή προκαλείται ή εκλύεται από πραγματικές ζητήσεις για τελικά προϊόντα. Τέτοιες πολιτικές έλεγχου ονομάζονται «ελκυσόμενες» (pull) πολιτικές ή «ελκυσόμενα» (pull) συστήματα έλεγχου της παραγωγής. Σε ένα τέτοιο σύστημα η εισαγωγή νέων εξαρτημάτων σε κάθε στάδιο παραγωγής συντονίζεται ή έλκεται από τις ζητήσεις για τελικά προϊόντα. Σε αυτά τα συστήματα υπάρχει ένα απόθεμα από έτοιμα προϊόντα, τα οποία διατηρούνται σε χώρους αποθήκευσης. Όταν στο σύστημα εισέρχεται μια ζήτηση, αυτή ικανοποιείται αμέσως από τα έτοιμα προϊόντα, ενώ παράλληλα τίθεται σε εφαρμογή η παραγωγική διαδικασία, ώστε να συμπληρωθούν οι μονάδες που καταναλώθηκαν για την ικανοποίηση της ζήτησης. Οι μονάδες που παράγονται παραμένουν στο χώρο αποθήκευσης ως απόθεμα, μέχρι να ικανοποιήσουν μια νέα ζήτηση. Τα έτοιμα προϊόντα που υπάρχουν στο σύστημα πριν την άφιξη της ζήτησης αποτελούν το απόθεμα ασφάλειας.

Στα ελκυσόμενα συστήματα δεν υπάρχει προειδοποίηση της ζήτησης και απόρροια του γεγονότος αυτού είναι ότι τα συστήματα αυτά αντιδρούν ικανοποιητικά σε μικρές διακυμάνσεις της ζήτησης. Αντίθετα, μεγάλες και απότομες μεταβολές της ζήτησης οδηγούν σε αύξηση του συνολικού κόστους του συστήματος. Συγκεκριμένα μια μεγάλη και απότομη αύξηση της ζήτησης προκαλεί αύξηση του κόστους έλλειψης, ενώ αντίστοιχη μείωση της ζήτησης προκαλεί αύξηση του κόστους διατήρησης του αποθέματος.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα σημαντικότερα ελκυσόμενα συστήματα έλεγχου παραγωγής.

- **Σύστημα kanban**

Είναι το πιο γνωστό ελκυσόμενο σύστημα έλεγχου της παραγωγής. Η λέξη kanban σημαίνει κάρτα στα Ιαπωνικά και αναφέρεται στο μηχανισμό κατά τον οποίο μια κάρτα εξουσιοδότησης επικολλάται σε ένα εξάρτημα, εξουσιοδοτώντας την εισαγωγή του σε κάποιο στάδιο. Στο σύστημα kanban η ζήτηση μεταφέρεται πίσω από κάθε στάδιο μόνο όταν ένα εξάρτημα του σταδίου μεταφερθεί μπροστά από το στάδιο αυτό. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται σφιχτός συντονισμός μεταξύ των σταδίων του συστήματος.

Ένα πλεονέκτημα της λειτουργίας των συστημάτων αυτών είναι ότι ο αριθμός των εξαρτημάτων στο κάθε στάδιο περιορίζεται από τον αριθμό των καρτών του αντιστοίχου σταδίου. Όμως, χαρακτηρίζεται αρνητικό το γεγονός ότι το σύστημα μπορεί να μην

αντιδράσει άμεσα σε μια ζήτηση, αφού αυτή κατά την άφιξη της μπορεί να κατευθυνθεί σε όλα τα στάδια του συστήματος.

- **Σύστημα conwip**

Το σύστημα conwip είναι μια παραλλαγή του συστήματος kanban. Στο σύστημα conwip κάθε νέο εξάρτημα εισέρχεται στη γραμμή παραγωγής, μόλις ένα τελικό προϊόν παραδίδεται στον πελάτη. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται σταθερός αριθμός εργασιών σε εξέλιξη κάθε χρονική στιγμή (Constant Work In Progress). Προϋπόθεση για την λειτουργία του συστήματος αυτού είναι να επιτρέπεται η καθυστέρηση των παραγγελιών. Όταν δεν επιτρέπεται η καθυστέρηση των παραγγελιών το σύστημα είναι ισοδύναμο με το σύστημα basestock.

Το σύστημα conwip είναι πιο εύχρηστο από το kanban γιατί σε γραμμές που παράγονται διαφορετικά προϊόντα δε χρειάζεται να διατηρούνται κιβώτια με ξεχωριστές κάρτες για κάθε τύπο προϊόντος.

- **Σύστημα basestock**

Το σύστημα basestock είναι το απλούστερο από τα ελκυσόμενα συστήματα έλεγχου της παραγωγής. Η παράμετρος ελέγχου και βελτιστοποίησης του συστήματος είναι το βασικό απόθεμα S. Όταν μια ζήτηση φτάσει στο σύστημα, αυτή οδηγείται σε κάθε στάδιο του συστήματος δίνοντας εντολή για τη μεταφορά ενός νέου εξαρτήματος από το χώρο αποθήκευσης εξερχόμενων υλών του προηγούμενου σταδίου στο χώρο αποθήκευσης εισερχόμενων υλών του επόμενου σταδίου.

Το πλεονέκτημα του μηχανισμού αυτού είναι ότι επιτυγχάνεται άμεση αντίδραση στη ζήτηση και η ικανοποίηση της είναι άμεση. Όμως αποτελεί μειονέκτημα το γεγονός ότι το σύστημα παρέχει πολύ χαλαρό συντονισμό μεταξύ των σταδίων και ότι δεν εξασφαλίζεται κανένα όριο στον αριθμό των εξαρτημάτων που εισέρχονται σε αυτό, αφού η άφιξη κάθε ζήτησης εξουσιοδοτεί την εισαγωγή ενός νέου εξαρτήματος στη γραμμή παραγωγής.

---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

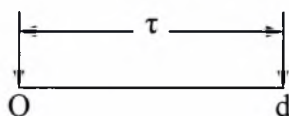
---

## 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

### 2.1 Περιγραφή του συστήματος basestock με ακύρωση της παραγγελίας

Θεωρούμε ένα σύστημα basestock ενός σταδίου, το οποίο αποτελείται από τέσσερις σταθμούς εργασίας (μηχανές) σε σειρά με ενδιάμεσους χώρους αποθήκευσης. Κάθε σταθμός εργασίας τροφοδοτείται από τεμάχια, τα οποία προέρχονται από το χώρο αποθήκευσης του προηγούμενου και αφού επεξεργαστούν οδηγούνται στο χώρο αποθήκευσης του επόμενου σταθμού. Ο πρώτος σταθμός τροφοδοτείται με πρώτες ύλες, τις οποίες θεωρούμε άπειρες και ο τελευταίος προωθεί τα τελικά προϊόντα στο χώρο αποθήκευσης τελικών προϊόντων. Οι ζητήσεις που εισέρχονται στο σύστημα για τελικά προϊόντα έχουν μια ημερομηνία παράδοσης. Αν στον χώρο αποθήκευσης υπάρχουν τελικά προϊόντα, οι ζητήσεις ικανοποιούνται αμέσως, ενώ ταυτόχρονα δίνεται εντολή για την έναρξη της παραγωγής ενός νέου προϊόντος, το οποίο θα αναπληρώσει το απόθεμα  $S$ . Επιπλέον κάνουμε την εξής υπόθεση. Ένα ποσοστό των εισερχομένων ζητήσεων ακυρώνονται πριν ικανοποιηθούν οπότε, κάθε φορά που το σύστημα εντοπίζει μια ακυρωμένη ζήτηση αποτρέπει την εισαγωγή ενός νέου τεμαχίου στη γραμμή παραγωγής.

Επίσης θεωρείται γνωστή η ημερομηνία παράδοσης του προϊόντος. Αν συμβολίσουμε με  $d_n$  την ημερομηνία παράδοσης της νιοστής ζήτησης και με  $O_n$  τη χρονική στιγμή άφιξης της νιοστής ζήτησης τότε η διάφορα  $\tau_n = d_n - O_n$ , ονομάζεται χρόνος προειδοποίησης της νιοστής ζήτησης.

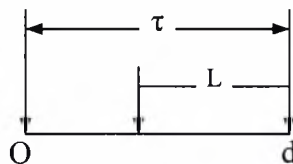


Σχήμα 2.2.1 Ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης

Ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης μπορεί να είναι είτε σταθερός για όλα τα  $n$ , είτε στοχαστικός με δεδομένη κατανομή πιθανότητας, όμως στο συγκεκριμένο σύστημα θεωρείται σταθερός. Βασική παράμετρος για το σύστημα είναι και ο χρόνος υστέρησης  $L$ , ο οποίος καθορίζει τον χρόνο έναρξης της παραγωγής ενός νέου προϊόντος και σχετίζεται



άμεσα με το χρόνο κατά τον οποίο ένα προϊόν βρίσκεται σε διαδικασία παραγωγής (Work In Progress).

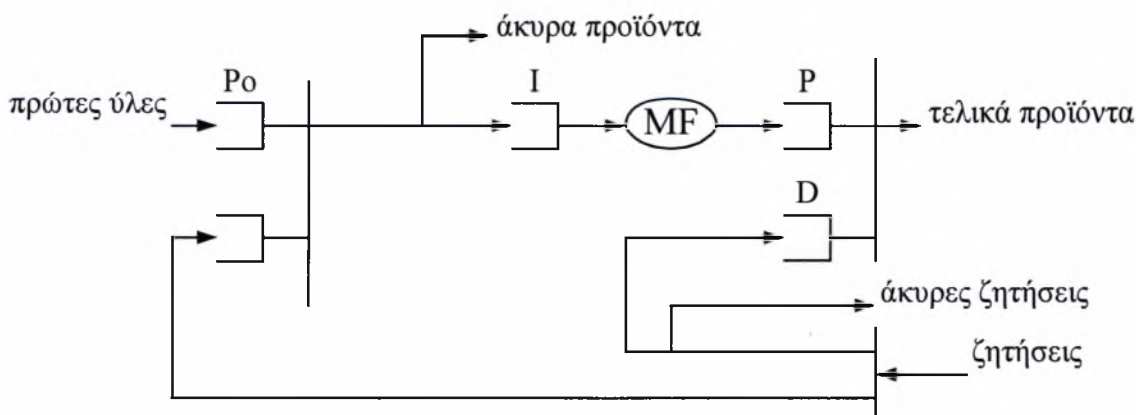


Σχήμα 2.2.2 Ο χρόνος υστέρησης  $L$

Στο συμβατικό σύστημα basestock ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης είναι μηδέν, όποτε κατά την άφιξη μιας ζήτησης έχουμε άμεση ικανοποίηση της και άμεση έναρξη της διαδικασίας παραγωγής νέου προϊόντος. Στην περίπτωση όπου ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης είναι διάφορος του μηδενός, κατά την άφιξη μιας ζήτησης, το σύστημα καθυστερεί την εντολή παράδοσης κατά  $\tau_n$  και παράλληλα καθυστερεί την έναρξη της παραγωγής ενός νέου τεμαχίου κατά  $\tau_n - L$ . Αν η ποσότητα αυτή είναι μεγαλύτερη από το μηδέν, τότε η έναρξη της παραγωγής καθυστερεί κατά  $\tau_n - L$ , ενώ σε αντίθετη περίπτωση δεν υπάρχουν περιθώρια για καθυστέρηση και η παραγωγή αρχίζει άμεσα. Συνοψίζοντας τα παραπάνω, η καθυστέρηση έναρξης της παραγωγής είναι ίση με την ποσότητα  $\max(0, \tau_n - L)$ .

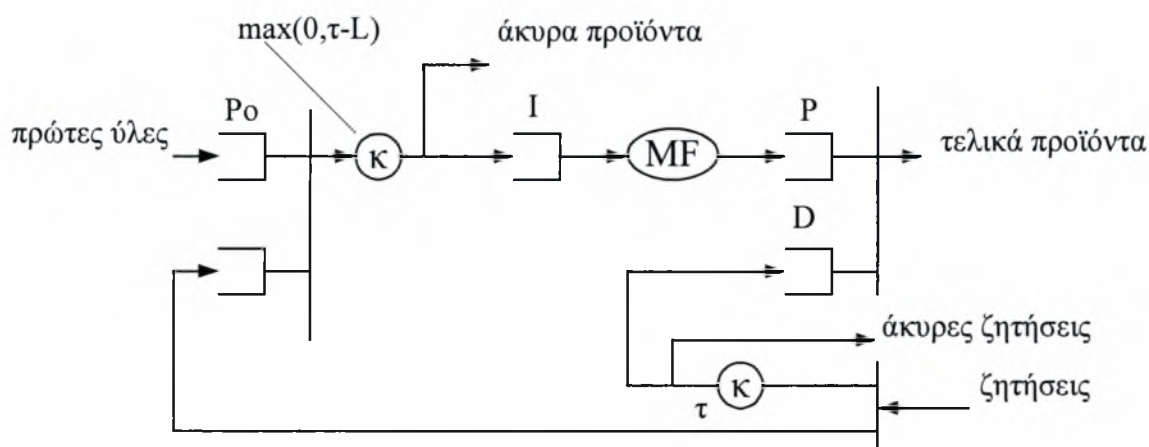
Οι δυο παράμετροι της πολιτικής έλεγχου, την οποία θα ακολουθήσουμε, είναι το απόθεμα ασφαλείας τελικών προϊόντων  $S$  και ο χρόνος υστέρησης  $L$  του συστήματος. Τέλος, θα εξετάσουμε τη συμπεριφορά του συστήματος για δυο διαφορετικές πιθανότητες απόρριψης της ζήτησης, για  $\Pi=0.2$  και  $\Pi=0.4$ .

Το σύστημα περιγράφεται στα σχήματα που ακολουθούν.



Σχήμα 2.1.3 : Σύστημα basestock ενός σταδίου με ακύρωση της ζήτησης.





Σχήμα 2.1.4 : Σύστημα basestock ενός σταδίου με ακύρωση της ζήτησης και καθυστέρηση

## 2.2 Παράμετροι του συστήματος

Η συμπεριφορά του συστήματος επηρεάζεται από παραμέτρους, μερικές από τις οποίες αποτελούν τις αρχικές παραμέτρους του και δεν μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, ενώ άλλες παίρνουν μεταβαλλόμενες τιμές. Στο σύστημα που μελετάμε έχουμε τις εξής παραμέτρους.

- $\sigma_\lambda$  : ο μέσος χρόνος άφιξης μεταξύ δυο διαδοχικών ζητήσεων, η οποία είναι τυχαία μεταβλητή και ακολουθεί εκθετική κατανομή με μέση τιμή 1.25 ( $\text{expo}(1.25)$ ).
- $\kappa_\lambda$  : ο μέσος χρόνος επεξεργασίας του τεμαχίου σε κάθε μια από τις τέσσερις μηχανές, ο οποίος είναι τυχαία μεταβλητή και ακολουθεί εκθετική κατανομή με μέση τιμή 1 ( $\text{expo}(1)$ ).
- $L$  : ο χρόνος υστέρησης.
- $\tau$  : ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης.

- $\Pi$  : η πιθανότητα ακύρωσης της ζήτησης, η οποία είναι σταθερή.
- $h$  : το κόστος διατήρησης μιας μονάδας αποθέματος.
- $b$  : το κόστος καθυστέρησης (έλλειψης) μιας ζήτησης.
- $S$  : το αρχικό απόθεμα ασφάλειας του συστήματος.
- $M$  : ο μέσος αριθμός τεμαχίων, τα οποία επεξεργάζονται στη γραμμή παραγωγής.
- $P$  : ο μέσος αριθμός των τεμαχίων που βρίσκονται σε αναμονή στον χώρο αποθήκευσης.
- $D$  : ο μέσος αριθμός των ζητήσεων που βρίσκονται σε αναμονή.

Από τις παραπάνω παραμέτρους οι  $L$ ,  $\Pi$ ,  $h$ ,  $b$ ,  $\tau$ ,  $\sigma_L$ , κλ αποτελούν τις αρχικές και οι τιμές τους δε μεταβάλλονται σε αντίθεση με τις  $M$ ,  $P$ ,  $D$  οι οποίες μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Το συνολικό κόστος του συστήματος  $TC$ , εξαρτάται από τις παραπάνω παραμέτρους και υπολογίζεται από τη σχέση  $TC=(M+P) \cdot h + D \cdot b$

Για να βελτιστοποιήσουμε την απόδοση του συστήματος θα πρέπει να υπολογίσουμε τις κατάλληλες τιμές των παραμέτρων για τις οποίες ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος.

### 2.3 Παραδοχές του συστήματος

Στο σύστημα που μελετάμε κάνουμε τις εξής παραδοχές.

- Οι πρώτες ύλες είναι απεριόριστες και διαθέσιμες τη χρονική στιγμή που ζητούνται.
- Η παραγωγή έχει τη δυνατότητα να αναπληρώνει το απόθεμα ασφάλειας σε κάθε χρονική στιγμή.
- Οι ζητήσεις εισέρχονται στο σύστημα ανά μια, δηλαδή δεν απαιτείται ομαδοποίηση των ζητήσεων για την έναρξη της παραγωγής.
- Ο αριθμός των ζητήσεων, τις οποίες μπορεί να ικανοποιήσει το σύστημα είναι απεριόριστος.
- Ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης είναι σταθερός.
- Οι μηχανές λειτουργούν συνεχώς χωρίς να λαμβάνονται υπόψη διακοπές και βλάβες.
- Δεν λαμβάνεται υπόψη το κόστος και ο χρόνος προετοιμασίας των μηχανών.

---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

---

### 3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

#### 3.1 Το λογισμικό προσομοίωσης ARENA

Για την επίλυση του συστήματος που περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό προσομοίωσης ARENA 3.0 της Systems Modeling Comporation, το οποίο είναι μια παραθυρική εφαρμογή και μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε πλατφόρμα των Microsoft Windows® (95, 98, NT, 2000).

Το πρόγραμμα είναι ιδιαίτερα εύχρηστο καθώς συνδυάζει πλεονεκτήματα όπως απλότητα και ευκολία στη χρήση, την ευελιξία που προσφέρουν οι γλώσσες προσομοίωσης SIMAN και τη δυνατότητα ολοκλήρωσης (integration) με τις ισχυρότερες γλώσσες προγραμματισμού (Microsoft Visual Basic, Fortran). Το ARENA παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα ανάλυσης σύνθετων προβλημάτων, καθώς τα πρότυπα και οι εντολές των γλωσσών προσομοίωσης κατανέμονται σε διαφορετικά επίπεδα, επιτρέποντας την ανάλυση σύνθετων συστημάτων σε απλότερα.

Επίσης το ARENA περιέχει πρόσθετα προγράμματα, τα οποία χρησιμοποιούνται για λεπτομερή στατιστική ανάλυση, για τον έλεγχο της ευσταθείας των συστημάτων καθώς και για τη σύγκριση μοντέλων. Τα προγράμματα αυτά είναι τα εξής. Output Analyzer, Input Analyzer και Scenario Analysis. Στη παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα Output Analyzer προκειμένου να εξάγουμε συμπεράσματα για την ευστάθεια των μοντέλων που αναλύσαμε, καθώς και για τον έλεγχο μόνιμης κατάστασης (steady state).

#### 3.2 Κατασκευή του μοντέλου

Για να μελετήσουμε το σύστημα έλεγχου παραγωγής με το λογισμικό ARENA θα πρέπει να κατασκευάσουμε ένα μοντέλο το οποίο θα περιέχει τις παραμέτρους του συστήματος, χρησιμοποιώντας τις εντολές του ARENA. Προκειμένου να ξεκινήσουμε την κατασκευή του μοντέλου θα πρέπει να καθορίσουμε τα δεδομένα και τις παραμέτρους που ορίζουν την λειτουργία του συστήματος, κάνοντας χρήση των ακόλουθων εντολών.

- **Arrive** : Παριστάνει την άφιξη των εισερχόμενων ζητήσεων στο σύστημα. Στο επάνω μέρος της εντολής και συγκεκριμένα στο πεδίο Enter Data καθορίζεται το όνομα του σταθμού εισερχόμενων ζητήσεων. Στη συνέχεια επιλέγουμε το μέγεθος της παρτίδας (Batch Size) και την κατανομή που ακολουθούν οι αφίξεις (Time Between). Εικόνα 3.2.1
- **Create** : Με την εντολή αυτή δηλώνουμε το αρχικό απόθεμα ασφάλειας S, το οποίο υπάρχει στο σύστημα. Εικόνα 3.2.2

- **Duplicate** : Κατά την άφιξη μιας ζήτησης δημιουργεί μια νέα οντότητα, η οποία θα ενημερώσει το χώρο αποθήκευσης πρώτων υλών για να ξεκινήσει ένα νέο τεμάχιο προς τη γραμμή παραγωγής. Στο πεδίο duplicates ορίζουμε τον αριθμό των νέων οντοτήτων. Εικόνα 3.2.3
- **Assign** : Χρησιμοποιούμε αυτή την εντολή για να δηλώσουμε τις μεταβλητές και τις σταθερές παραμέτρους του συστήματος, την ονομασία τους, καθώς επίσης και την αρχική τιμή αυτών. Εικόνα 3.2.4. Ο καθορισμός των παραμέτρων γίνεται στο πεδίο assignments. Εικόνα 3.2.5
- **Delay** : Είναι ο χρόνος κατά τον οποίο καθυστερεί το σύστημα μια οντότητα (ζήτηση ή προϊόν). Η χρονική καθυστέρηση δηλώνεται στο πεδίο delay type. Εικόνα 3.2.6
- **Choose** : Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με συνδέσμους υπόθεσης (if, else) και ανάλογα με τις συνθήκες κατευθύνει τις οντότητες σε επιλεγμένες διαδρομές. Σε αυτή την εντολή δηλώνεται η πιθανότητα ακύρωσης της ζήτησης. Οι επιθυμητές συνθήκες διατυπώνονται στο πεδίο conditions. Εικόνα 3.2.7
- **Tally** : Χρησιμοποιούμε την εντολή tally για να μετρήσουμε χρονικές περιόδους, οι οποίες εκφράζονται με μεταβλητές, οι οποίες έχουν δηλωθεί στην εντολή assign. Επίσης είναι ένας τρόπος εμφάνισης των χρονικών μεταβλητών στο report αποτελεσμάτων. Στο πεδίο attribute ορίζουμε την επιθυμητή χρονική μεταβλητή και στο πεδίο tally το όνομα της μεταβλητής όπως αυτή εμφανίζεται στο report. Εικόνα 3.2.8
- **Queues** : Χρησιμοποιούμε την εντολή αυτή για να δηλώσουμε τις ουρές αναμονής που υπάρχουν στο σύστημα καθώς και τον τύπο τους (First In First Out, Last In First Out). Εικόνα 3.2.9
- **Count** : Με την εντολή αυτή έχουμε τη δυνατότητα να εισάγουμε στο σύστημα μετρητές οντοτήτων. Στο μεσαίο πεδίο του παραθύρου δηλώνουμε το όνομα του μετρητή και την ποσότητα κατά την οποία θα αυξάνει κατά τη διέλευση κάθε οντότητας. Εικόνα 3.2.10
- **Counters** : Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται να για δηλωθούν οι μετρητές, που χρησιμοποιούνται στο σύστημα. Εικόνα 3.2.11
- **Dispose** : Αναλαμβάνει να απομακρύνει μια οντότητα από το σύστημα όταν τελειώσει το έργο της. Εικόνα 3.2.12
- **Wait** : Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την εντολή signal. Όταν μια οντότητα φτάσει σε ένα wait τότε ακινητοποιείται δημιουργώντας ουρά αναμονής και απελευθερώνεται μόνο όταν μια άλλη οντότητα περάσει από ένα signal με τον ίδιο κωδικό. Εικόνα 3.2.13

- **Server** : Κάνοντας χρήση της εντολής αυτής μπορούμε να εισάγουμε στο σύστημα σταθμούς επεξεργασίας. Στο πεδίο station ορίζουμε το όνομα της μηχανής ενώ στο πεδίο server data δηλώνουμε την πηγή προέλευσης και το χρόνο επεξεργασίας κάθε τεμαχίου, την χωρητικότητα της μηχανής και τον τύπο της ουράς αναμονής που δημιουργούν τα προς επεξεργασία τεμάχια. Εικόνα 3.2.14
- **Variables** : Με την εντολή αυτή δηλώνουμε τις παραμέτρους του συστήματος, οι οποίες δεν παραμένουν σταθερές και θέλουμε να τις μεταβάλλουμε κατά την ανάλυση για να βελτιστοποιήσουμε το σύστημα. Στα διάφορα πεδία της εντολής μπορούμε να δηλώσουμε το όνομα κάθε μεταβλητής καθώς και την αρχική τιμή της. Εικόνα 3.2.15
- **Statistics** : Χρησιμοποιούμε το παράθυρο αυτό για να ορίσουμε την σειρά που εμφανίζονται τα αποτελέσματα στο report. Επίσης μέσω αυτής της εντολής μπορούμε να δημιουργήσουμε κατάλληλα αρχεία, τα οποία με τη χρήση του προγράμματος Output Analyzer, μας δίνουν πληροφορίες σχετικά με την ευστάθεια και τις μόνιμες συνθήκες του συστήματος. Εικόνα 3.2.16
- **Simulate** : Εδώ ορίζουμε τον αριθμό των επαναλήψεων και το χρόνο προσομοίωσης. Συγκεκριμένα ορίσαμε χρόνο προσομοίωσης ίσο με 300.000 χρονικές μονάδες και αφού διαπιστώσαμε ότι σε αυτό το χρονικό διάστημα το σύστημα επιτυγχάνει κατάσταση μόνιμων συνθηκών, τον εφαρμόσαμε στην πλειοψηφία των πειραμάτων. Εικόνα 3.2.17

### 3.3 Έλεγχος της ορθότητας του μοντέλου

Μετά την κατασκευή του μοντέλου, το επόμενο βήμα είναι να εξετάσουμε την ορθότητά του. Σε ότι αφορά το λογισμικό μέρος του προγράμματος, ο έλεγχος γίνεται αυτόματα από το πρόγραμμα χρησιμοποιώντας την εντολή check. Αν το πρόγραμμα εντοπίσει σφάλμα τότε εκδίδει report, το οποίο αναφέρει τα σφάλματα καθώς επίσης και το σημείο στο οποίο εμφανίζονται. Στην περίπτωση που το μοντέλο είναι ορθό μπορούμε πλέον να ξεκινήσουμε τη διαδικασία των πειραμάτων με την εντολή run όπου και σε αυτή την περίπτωση το πρόγραμμα ελέγχει το μοντέλο. Αν δεν εντοπιστεί σφάλμα, αρχίζει η προσομοίωση για χρόνο ίσο με αυτόν που έχουμε ορίσει με την εντολή simulate. Μετά την πάροδο των προκαθορισμένων χρονικών μονάδων η προσομοίωση ολοκληρώνεται και το πρόγραμμα εκδίδει report αποτελεσμάτων, το οποίο περιγράφεται παρακάτω.

Εκτός από το λειτουργικό μέρος του προγράμματος θα πρέπει να εξετάσουμε και την ορθότητα της μοντελοποίησης, δηλαδή κατά πόσο έχουμε μεταφέρει σωστά το σύστημα έλεγχου παραγωγής στον υπολογιστή. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας αναλυτικές λύσεις όπου



για συγκεκριμένα δεδομένα του συστήματος δίνουν τις αντίστοιχες τιμές σε χαρακτηριστικές παραμέτρους, οι οποίες επηρεάζουν το κόστος, όπως ο μέσος όρος των ζητήσεων σε αναμονή και το μέσο wip. Επίσης ο έλεγχος αυτός μπορεί να γίνει συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου με αποτελέσματα πειραμάτων παλαιότερων διπλωματικών. Συγκεκριμένα αν στο σύστημα μας ορίσουμε την οριακή περίπτωση όπου η πιθανότητα απόρριψης της ζήτησης είναι ίση με μηδέν τότε το σύστημα που προκύπτει είναι ένα basestock ενός σταδίου, το οποίο έχει μελετηθεί παλαιότερα στην [5].

Ακολουθώντας τις παραπάνω διαδικασίες επιβεβαιώσαμε την ορθότητα του μοντέλου. Στο επόμενο κεφάλαιο ακολουθεί η διαδικασία και βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων για τις διάφορες πολιτικές έλεγχου, τις οποίες εξετάσαμε.

### 3.4 Report αποτελεσμάτων της προσομοίωσης

Μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης το πρόγραμμα δημιουργεί ένα αρχείο με τα αποτελέσματα, ένα παράδειγμα του οποίου παρουσιάζεται παρακάτω.

#### ARENA Simulation Results

Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

#### Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma

Run execution date : 7/18/2000

Analyst: alexis dougekos

Model revision date: 14/ 7/2000

Replication ended at time : 1e+006.0

#### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	286.59	.77422	41.272	417.93	501599
Machine 4_R_Q Queue Ti	1.9571	.03021	.00000	31.078	501708
paradosi	.00000	.00000	.00000	.00000	501599

Machine 1_R_Q Queue Ti	6.6405	.07933	.00000	90.095	501709
avedelay	15.000	1.1964E-15	15.000	15.000	501709
dead Queue Time	1.7028	.01344	5.7035E-07	14.098	449826E+01
servers flow time	17.711	.09062	.18386	133.89	501708
Machine 2_R_Q Queue Ti	2.8833	.05046	.00000	40.123	501708
avedelayorder	40.000	9.9249E-16	40.000	40.000	501599
Machine 3_R_Q Queue Ti	2.2295	.03106	.00000	32.378	501708
jack Queue Time	--	--	--	--	0

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in bob	143.77	.12959	.00000	177.00	129.00
# in dead	7.6599	.06436	.00000	63.000	.00000
# in Machine 4_R_Q	.98190	.01486	.00000	27.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	1.1185	.01695	.00000	28.000	.00000
# in Machine 2_R_Q	1.4465	.02615	.00000	35.000	.00000
# in jack	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
# in Machine 1_R_Q	3.3316	.04529	.00000	94.000	.00000
Machine 4_R Busy	.50190	.00216	.00000	1.0000	.00000
Machine 3_R Busy	.50115	.00163	.00000	1.0000	.00000
wip	8.8856	.05792	.00000	104.00	1.0000
Machine 2_R Busy	.50204	.00215	.00000	1.0000	.00000
Machine 1_R Busy	.50206	.00234	.00000	1.0000	1.0000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
------------	-------	-------



---

c1	501709	Infinite
c2	501708	Infinite
cdead	4498263	Infinite
c100	4498263	Infinite
Depart 1_C	501599	Infinite
expo.2_C	5000030	Infinite

Simulation run time: 9.78 minutes.

Simulation run complete.

Στο παραπάνω report εμφανίζονται οι τιμές των μεταβλητών, τις οποίες θα χρησιμοποιήσουμε για τη βελτιστοποίηση του κόστους του συστήματος. Στο επάνω μέρος του report αναγράφεται ο χρόνος προσομοίωσης και στη συνέχεια οι μεταβλητές tally, οι οποίες αναφέρονται σε χρόνους. Στη συνέχεια αναφέρονται οι διακριτές μεταβλητές (discrete change variables), οι οποίες μετρούν τον αριθμό των τεμαχίων. Παράλληλα εμφανίζονται έξι στήλες στην πρώτη από τις οποίες αναγράφεται το όνομα της μεταβλητής (identifier) και στη δεύτερη η μέση τιμή της (average). Στην επόμενη στήλη παρουσιάζεται η μεταβλητότητα της τιμής κάθε μεταβλητής (half width), ενώ οι επόμενες τρεις αναφέρονται στις ελάχιστες (minimum), στις μέγιστες (maximum) και στις τελικές τιμές των μεταβλητών (final value). Στο τελευταίο μέρος του report παρουσιάζονται οι τιμές των μετρητών (counters) και τέλος ο πραγματικός χρόνος προσομοίωσης (simulation run time).

Στη συνέχεια απεικονίζονται οι εντολές του ARENA που χρησιμοποιήσαμε για την κατασκευή του μοντέλου.

**Arrive** ? X

Enter Data

☒ Station expo.2

☐ Station Set

Station... Options...

Arrival Data

Batch Size: 1

First Creation:

Time Between: EXP0(1.25)

Max Batches:

Mark Time Attribute:

Assign... Animate...

Leave Data

Tran Out... Count...

☐ Route

☒ Connect

Next Label:

OK Cancel Help

Εικόνα 3.2.1 : Οι εξωτερικές αφίξεις των ζητήσεων

**CREATE Block** ? X

Label:

Mark Attribute:

Next Label:

Batch Size: ARXIKO S

First Creation:

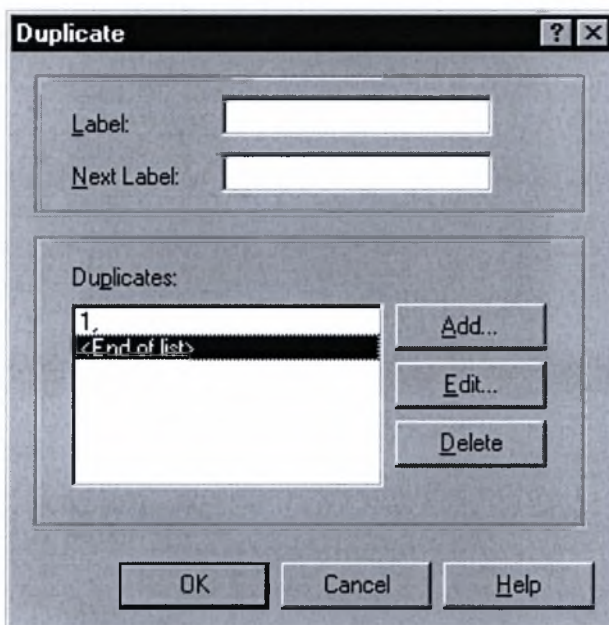
Interval:

Maximum Batches: 1

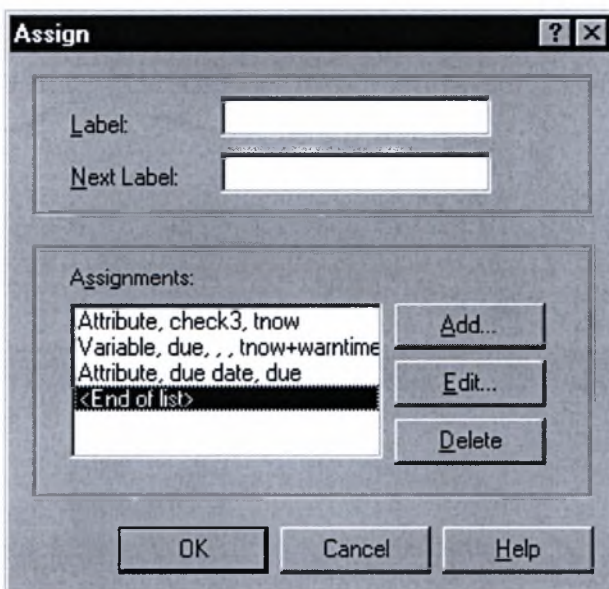
Comments:

OK Cancel Help

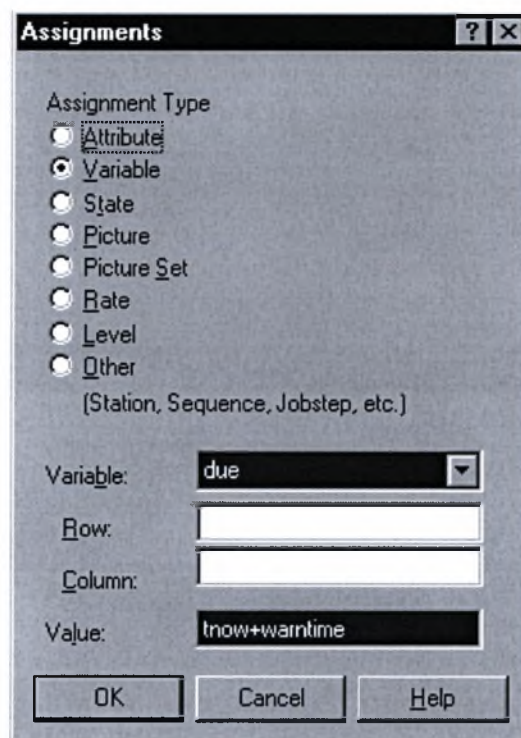
Εικόνα 3.2.2 : Το αρχικό απόθεμα ασφαλείας



Εικόνα 3.2.3 : Η εντολή αυτή δημιουργεί μια νέα οντότητα



Εικόνα 3.2.4 : Η δήλωση των μεταβλητών



**Assignments** ? X

Assignment Type

- ☐ Attribute
- ☒ Variable
- ☐ State
- ☐ Picture
- ☐ Picture Set
- ☐ Rate
- ☐ Level
- ☐ Other  
(Station, Sequence, Jobstep, etc.)

Variable: due

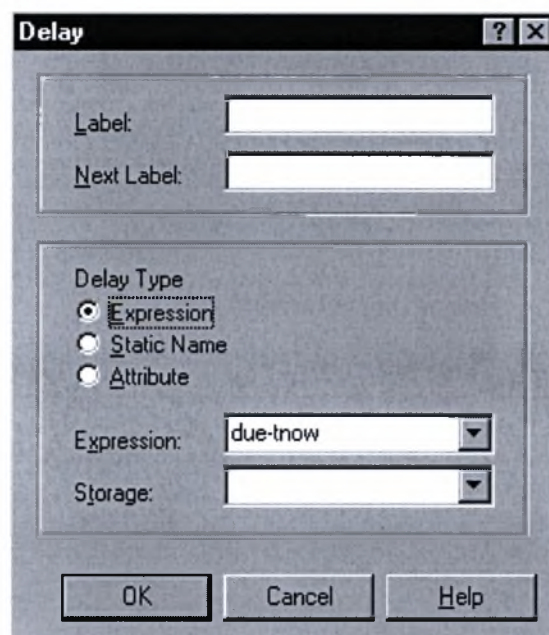
Row:

Column:

Value: tnow+waitime

OK Cancel Help

Εικόνα 3.2.5 : Το πεδίο όπου καθορίζονται και ονομάζονται οι παράμετροι



**Delay** ? X

Label:

Next Label:

Delay Type

- ☒ Expression
- ☐ Static Name
- ☐ Attribute

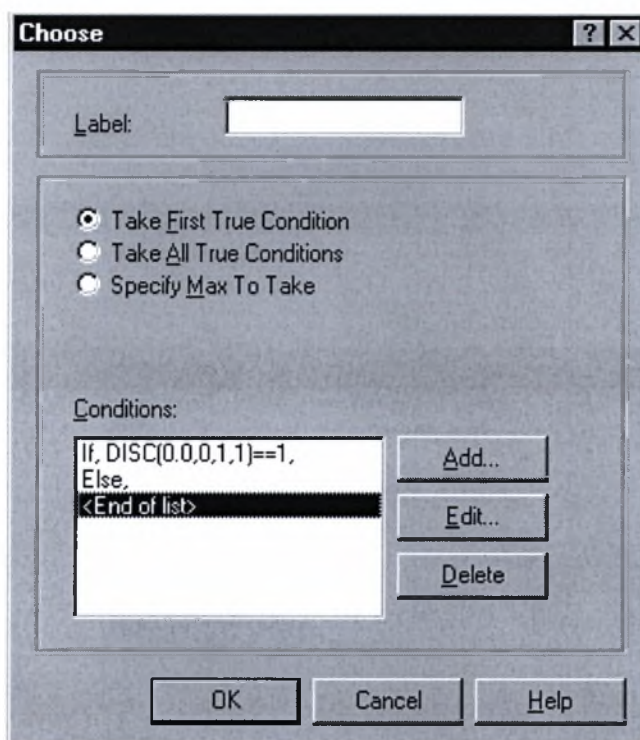
Expression: due-tnow

Storage:

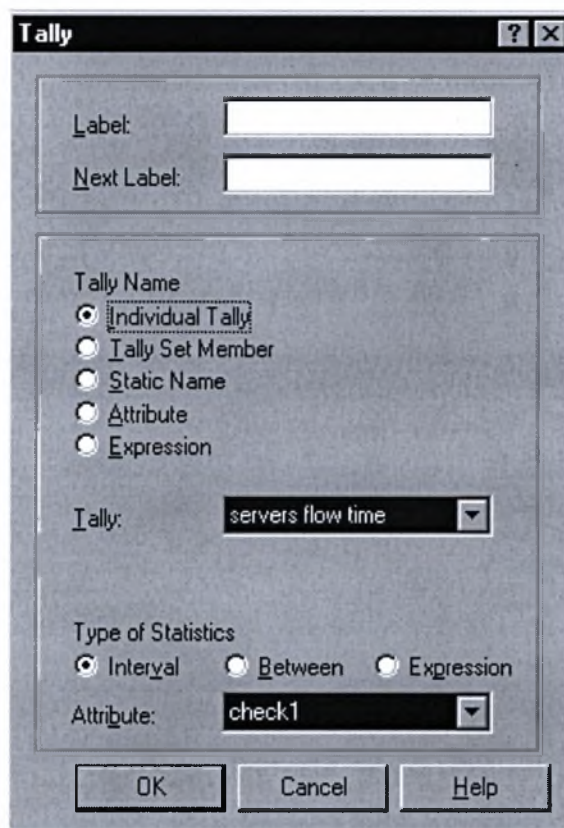
OK Cancel Help

Εικόνα 3.2.6 : Η χρονική καθυστέρηση

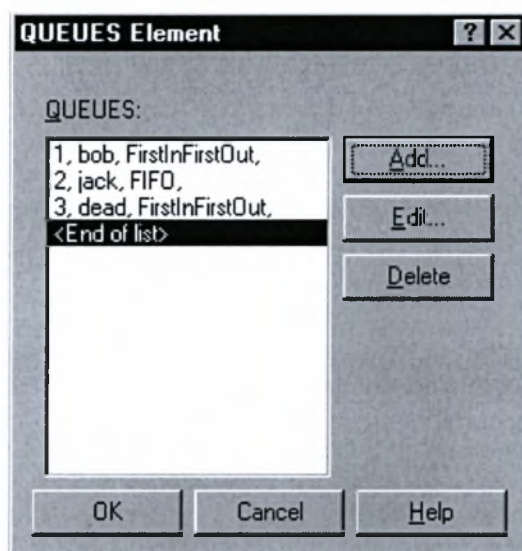




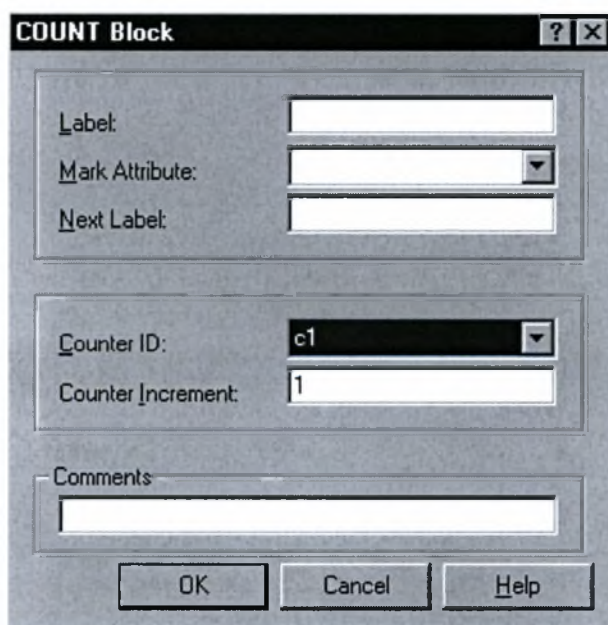
Εικόνα 3.2.7 : Η εντολή choose



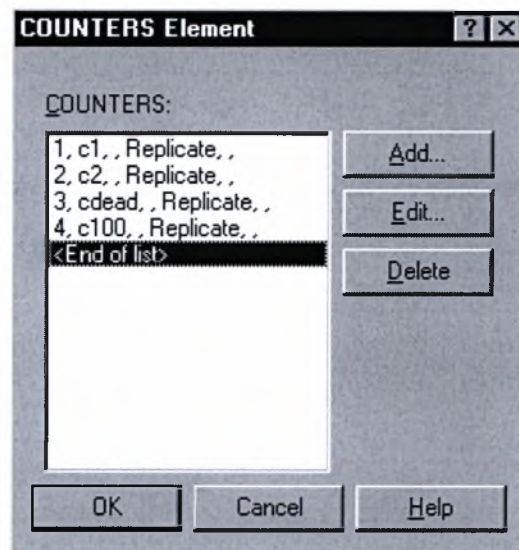
Εικόνα 3.2.8 : Η εντολή tally



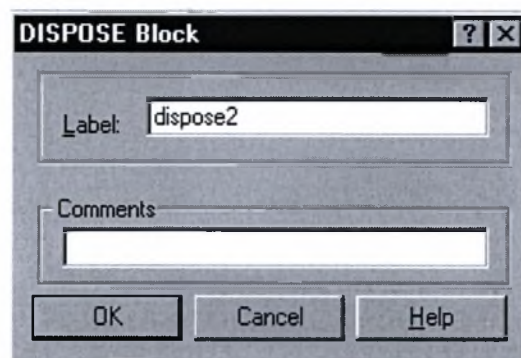
Εικόνα 3.2.9 : Οι ουρές αναμονής του συστήματος



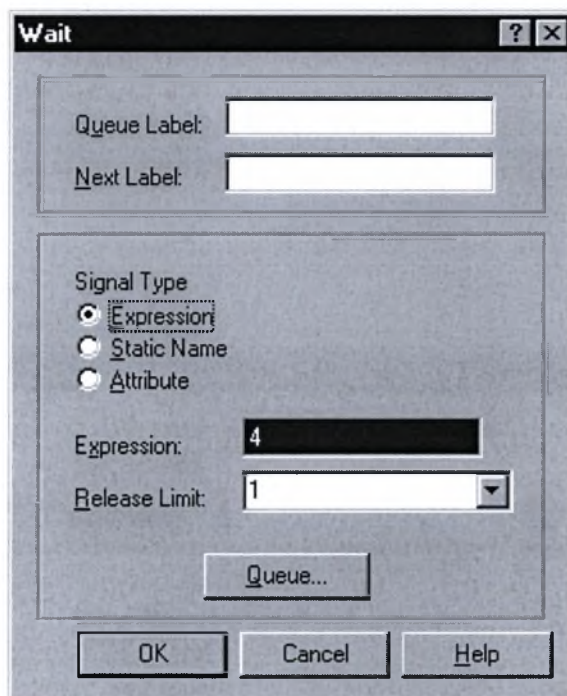
Εικόνα 3.2.10 : Η εισαγωγή μετρητή



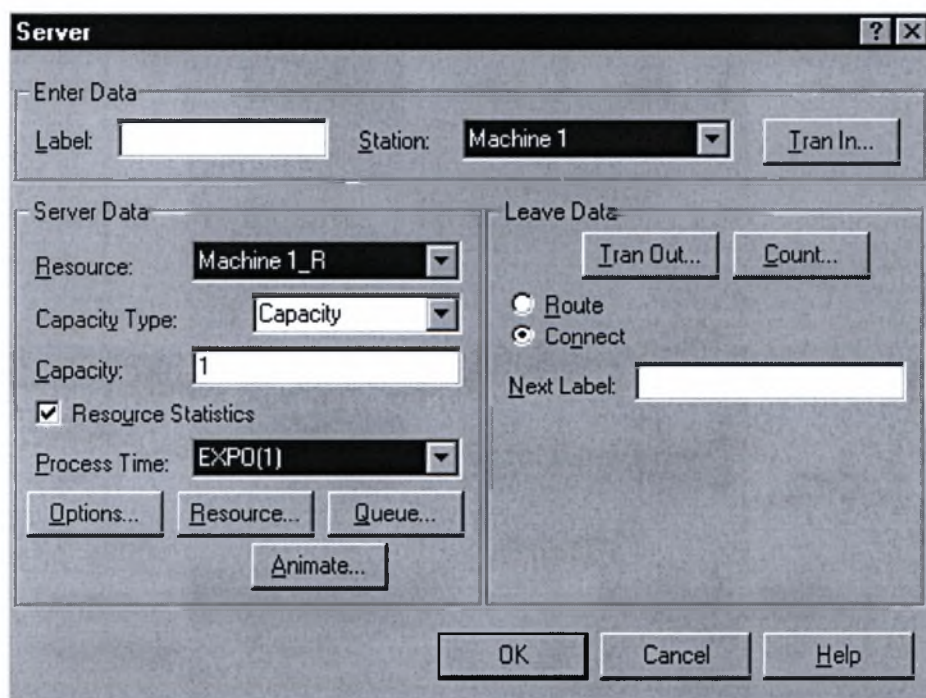
Εικόνα 3.2.11 : Η δήλωση των μετρητών του συστήματος



Εικόνα 3.2.12 : Η απόσυρση μιας οντότητας από το σύστημα

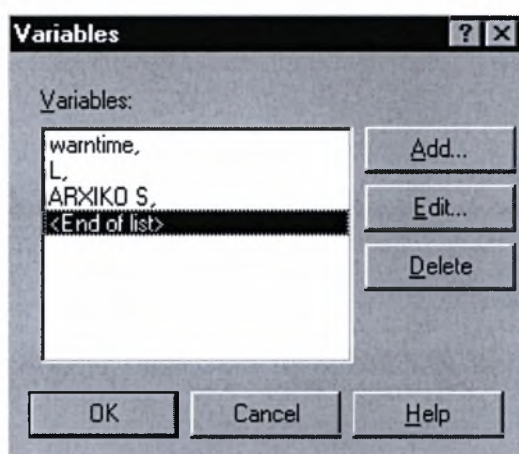


Εικόνα 3.2.13 : Η εντολή wait

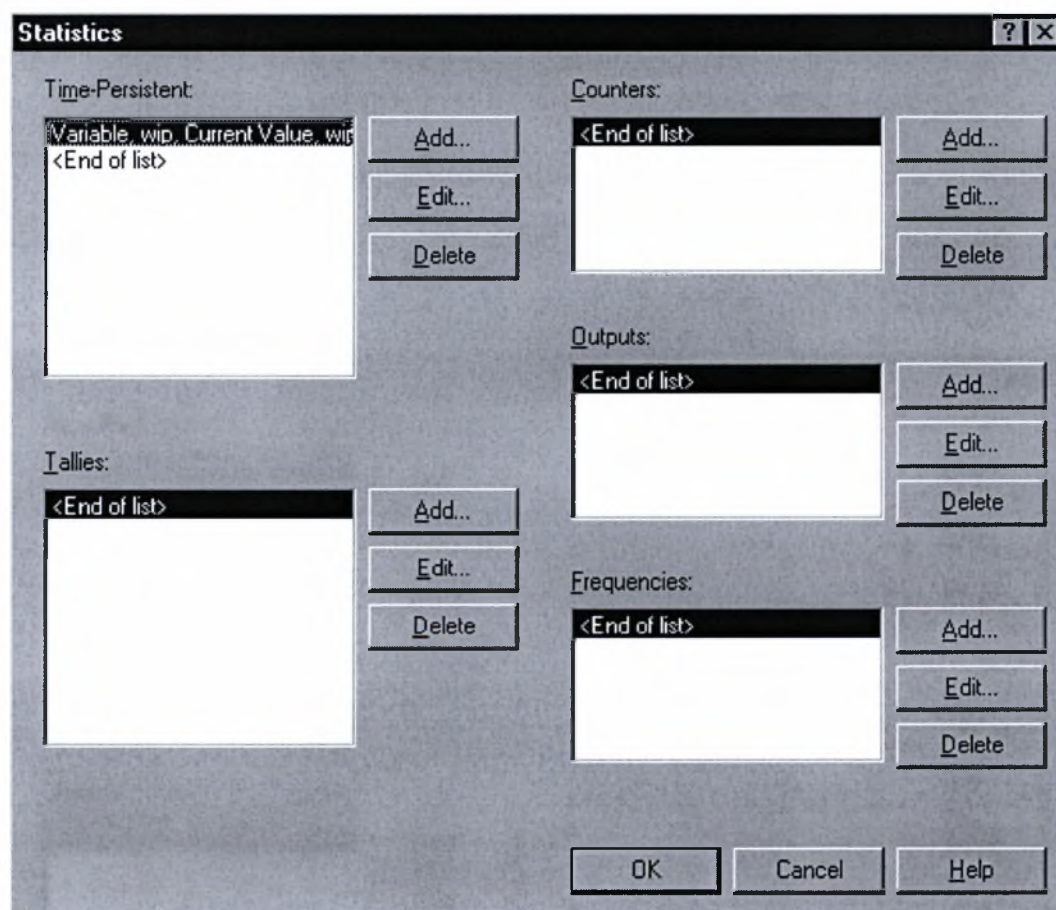


Εικόνα 3.2.14 : Η τοποθέτηση ενός σταθμού εργασίας





Εικόνα 3.2.15 : Η δήλωση των μεταβλητών απόφασης



Εικόνα 3.2.16 : Η ρύθμιση εμφάνισης των αποτελεσμάτων

**Simulate** ? X

**Project**

Title: diploma

Analyst: alexis dougekos

Date: 14 07 2000

**Replicate**

Number of Replications: 1

Beginning Time: 0.0

Length of Replication: 300000

Terminating Condition:

Between Replications...

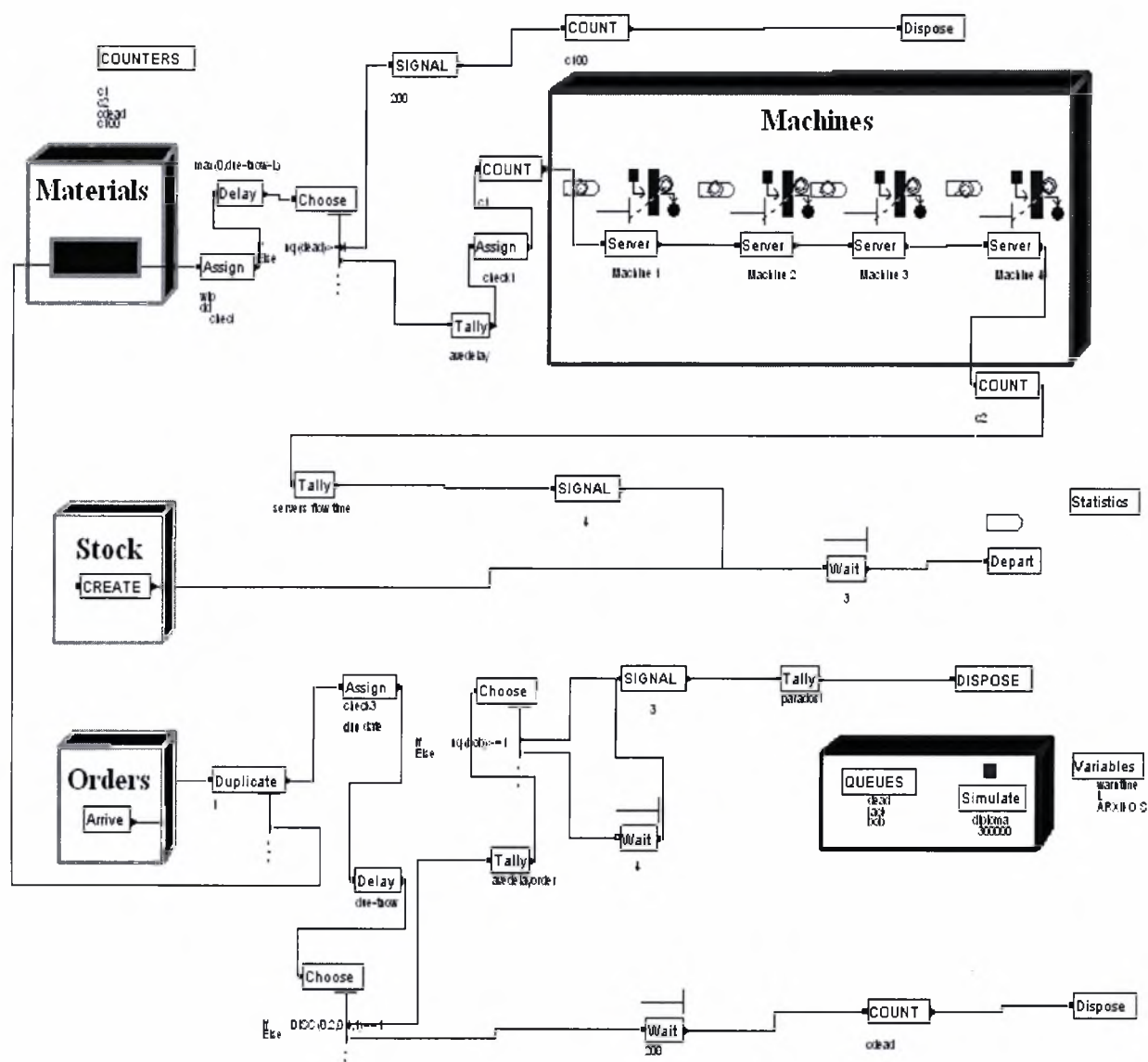
☒ Initialize System

☒ Initialize Statistics

Warm-Up Period:

OK Cancel Help

Εικόνα 3.2.17 : Η ρύθμιση του χρόνου προσομοίωσης



Εικόνα 3.2.18 : Η μοντελοποίηση του συστήματος στο πρόγραμμα ARENA

---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

---

## 4. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1 Διαδικασία βελτιστοποίησης

Μετά την κατασκευή και τον έλεγχο της ορθότητας του μοντέλου και αφού καταλήξαμε στη πολιτική έλεγχου την οποία θα ακολουθήσουμε, είμαστε σε θέση να ξεκινήσουμε τη διαδικασία βελτιστοποίησης του συστήματος. Αυτή η διαδικασία στηρίζεται στην ελαχιστοποίηση του κόστους του συστήματος το οποίο επηρεάζεται από παραμέτρους, οι τιμές των οποίων εξάγονται από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Το συνολικό κόστος του συστήματος υπολογίζεται από τη σχέση  $TC=(M+P) \cdot h + D \cdot b$ . Στη σχέση αυτή τα  $M$ ,  $P$ ,  $D$  είναι ο μέσος αριθμός των τεμαχίων που επεξεργάζονται στη γραμμή παραγωγής, ο μέσος αριθμός προϊόντων που βρίσκονται σε αναμονή στον χώρο αποθήκευσης και ο μέσος αριθμός των ζητήσεων που βρίσκονται σε αναμονή αντίστοιχα. Τα  $h$ ,  $b$  είναι τα κόστη αποθέματος και έλλειψης αντίστοιχα και αποτελούν κάποιες από τις σταθερές παραμέτρους του συστήματος. Στην περίπτωση μας έχουμε θεωρήσει για όλα τα πειράματα τις τιμές αυτές σταθερές και ίσες με  $h=5$  και  $b=1$ .

Υπάρχουν όμως και άλλες παράμετροι οι οποίες δεν επηρεάζουν άμεσα το κόστος αλλά είναι καθοριστικές για την συμπεριφορά του συστήματος. Αυτές οι παράμετροι είναι ο χρόνος άφιξης μεταξύ δυο διαδοχικών ζητήσεων  $s_k$ , ο μέσος χρόνος επεξεργασίας του τεμαχίου σε κάθε σταθμό εργασίας  $k_k$  και η πιθανότητα απόρριψης της ζήτησης  $P$ .

Τέλος, έχουμε το αρχικό απόθεμα ασφάλειας  $S$ , το χρόνο υστέρησης  $L$  και τον χρόνο προειδοποίησης της ζήτησης  $t$ . Οι τελευταίες αποτελούν τις μεταβλητές απόφασης και η επιλογή τους θα γίνεται με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους του συστήματος για δεδομένες τιμές των υπόλοιπων παραμέτρων.

### 4.2 Πειραματική διαδικασία και αποτελέσματα

Η διαδικασία βελτιστοποίησης κόστους εφαρμόστηκε κάνοντας χρήση της ίδιας πολιτικής έλεγχου στα διάφορα συστήματα. Για κάθε σύστημα που εξετάσαμε, πραγματοποιήσαμε μια σειρά πειραμάτων για δυο διαφορετικές πιθανότητες ακύρωσης της ζήτησης και συγκεκριμένα για  $P=0.2$  και για  $P=0.4$ . Τα μοντέλα που ανταποκρίνονται στα παραπάνω συστήματα διαφέρουν μεταξύ τους σε ότι αφορά τις σταθερές παραμέτρους τους.

- 1<sup>ο</sup> ΣΥΣΤΗΜΑ-1<sup>η</sup> ΣΕΙΡΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Για το πρώτο σύστημα που εξετάσαμε έχουμε τα ακόλουθα δεδομένα, τα οποία συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

<b>Π</b>	<b>κ<sub>λ</sub></b>	<b>σ<sub>λ</sub></b>	<b>h</b>	<b>b</b>
0.2	exp(1)	exp(1)	5	1

Για τη βελτιστοποίηση του κόστους έχουμε στη διάθεση μας την επιλογή της παραμέτρου  $S$ , για τους διάφορους χρόνους προειδοποίησης της ζήτησης. Σε ότι αφορά το χρόνο υστέρησης  $L$ , αυτός λαμβάνεται σταθερός και ίσος με τέτοια τιμή, ώστε η καθυστέρηση των προϊόντων και των ζητήσεων να είναι μηδενική. Τα αποτελέσματα για τους διάφορους χρόνους προειδοποίησης φαίνονται στους παρακάτω πίνακες, όπου το  $P$  συμβολίζει το μέσο όρο των προϊόντων σε αναμονή, το  $D$  το μέσο όρο των ζητήσεων σε αναμονή και το  $M$  το μέσο  $wip$ . Το συνολικό κόστος του συστήματος συμβολίζεται με  $TC$ . Επίσης η έντονη γραφή στα αποτελέσματα συμβολίζει το βέλτιστο απόθεμα και το αντίστοιχο συνολικό κόστος.

<b>τ=L=0</b>				
<b>S</b>	<b>Προϊόντα σε αναμονή (P)</b>	<b>Ζητήσεις σε αναμονή (D)</b>	<b>Μέσο wip (M)</b>	<b>Συνολικό κόστος (TC)</b>
7	0,321	9,245	15,926	90,482
<b>8</b>	0,481	8,405	15,926	<b>90,445</b>
9	0,687	7,610	15,926	90,676

<b>τ=L=4</b>				
<b>S</b>	<b>P</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>TC</b>
0	0,032	11,736	15,94	91,595
1	0,079	10,783	15,94	90,880
2	0,158	9,863	15,94	90,353
3	0,274	8,978	15,94	90,048
<b>4</b>	0,432	8,137	15,94	<b>89,998</b>
5	0,637	7,341	15,94	90,226

<b>τ=L=5</b>				
<b>S</b>	<b>P</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>TC</b>
0	0,061	11,264	16,458	93,860
1	0,130	10,332	16,458	93,271
2	0,233	9,436	16,458	92,893
<b>3</b>	0,377	8,580	16,458	<b>92,757</b>
4	0,565	7,769	16,458	92,886
5	0,802	7,005	16,458	93,306



**$\tau=L=6$**

S	P	D	M	TC
0	0,127	10,179	16,312	92,376
1	0,237	9,288	16,312	92,031
2	0,388	8,440	16,312	<b>91,942</b>
3	0,588	7,640	16,312	92,138
4	0,838	6,890	16,312	92,638
5	1,140	6,191	16,312	93,449

**$\tau=L=7$**

S	P	D	M	TC
0	0,218	9,147	16,169	91,081
1	0,366	8,296	16,169	<b>90,973</b>
2	0,562	7,491	16,169	91,147
3	0,807	6,736	16,169	91,618
4	1,104	6,033	16,169	92,400
5	1,455	5,384	16,169	93,504

**$\tau=L=8$**

S	P	D	M	TC
0	0,338	8,493	16,396	<b>92,161</b>
1	0,528	7,683	16,396	92,302
2	0,768	6,924	16,396	92,743
3	1,060	6,216	16,396	93,495
4	1,404	5,560	16,396	94,562
5	1,802	4,958	16,396	95,950

**$\tau=9$   
 $L=\tau^*=8$**

S	P	D	M	TC
0	0,362	8,156	16,013	<b>90,030</b>
1	0,566	7,360	16,013	90,255

**$\tau=10$   
 $L=\tau^*=8$**

S	P	D	M	TC
0	0,335	8,212	16,114	<b>90,456</b>
1	0,526	7,403	16,114	90,603

<b>τ=11</b> <b>L=τ*=8</b>				
S	P	D	M	TC
0	0,334	8,261	16,176	<b>90,809</b>
1	0,523	7,450	16,176	90,944

<b>τ=12</b> <b>L=τ*=8</b>				
S	P	D	M	TC
0	0,347	8,139	16,018	<b>89,962</b>
1	0,544	7,336	16,018	90,144

Τα παραπάνω αποτελέσματα συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

S/τ	0	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0				92,376	91,081	<b>92,161</b>	<b>90,030</b>	<b>90,456</b>	<b>90,809</b>	<b>89,962</b>
1			93,271	92,031	<b>90,973</b>	92,302	90,255	90,603	90,944	90,144
2		90,353	92,893	<b>91,942</b>	91,147	92,743				
3		90,048	<b>92,757</b>	92,138	91,618					
4		<b>89,998</b>	92,886	92,638						
5		90,226								
6										
7	90,482									
8	<b>90,446</b>									
9	90,676									

Από την παραπάνω βελτιστοποίηση εξάγεται το συμπέρασμα ότι υπάρχει μια κρίσιμη τιμή του χρόνου προειδοποίησης  $\tau^*$ , όπου για τιμές του  $\tau$  μικρότερες από το  $\tau^*$ , το βέλτιστο απόθεμα  $S^*$  παίρνει θετικές τιμές, ενώ για τιμές του  $\tau$  μεγαλύτερες από  $\tau^*$ , το βέλτιστο απόθεμα μηδενίζεται.

Δηλαδή ισχύει  $S^*>0$  για  $\tau<\tau^*$ ,  $S^*=0$  για  $\tau>\tau^*$ . Επίσης για τιμές του  $\tau$  μεγαλύτερες από  $\tau^*$ , το κόστος ελαχιστοποιείται για τιμές του χρόνου υστέρησης ίσες με τον βέλτιστο χρόνο προειδοποίησης,  $L^*=\tau^*$ .

Στη συνέχεια μελετήσαμε το ίδιο σύστημα με τη διάφορα ότι αυξήσαμε την πιθανότητα ακύρωσης της ζήτησης από  $\Pi=0.2$  σε  $\Pi=0.4$ . Συνεπώς για να έχουμε την ίδια ικανοποίηση παραγγελιών θα πρέπει να μειώσουμε τον χρόνο άφιξης μεταξύ των ζητήσεων. Συγκεκριμένα αν  $\sigma_{κ0}=\exp(1.25)$  δηλαδή ο μέσος όρος άφιξης των ζητήσεων είναι μια ζήτηση ανά 1.25 χρονικές μονάδες, για να έχουμε τον ίδιο αριθμό εξερχόμενων ζητήσεων θα πρέπει οι ζητήσεις να εισέρχονται στο σύστημα συχνότερα. Δηλαδή  $\sigma_{\kappa}=\sigma_{\kappa0}\cdot(1-\Pi)$  και στην περίπτωση



μας  $\sigma_k = \exp(0.75)$ , το οποίο σημαίνει μια ζήτηση ανά 0.75 χρονικές μονάδες. Έχουμε λοιπόν τα ακόλουθα δεδομένα.

$\Pi$	$\kappa_\lambda$	$\sigma_\lambda$	$h$	$b$
0.4	$\exp(1)$	$\exp(0.75)$	5	1

Μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας και για διάφορους χρόνους προειδοποίησης πήραμε τα εξής αποτελέσματα.

$\tau=L=0$				
S	P	D	M	TC
7	0,328	9,270	15,939	90,606
8	0,492	8,433	15,939	<b>90,586</b>
9	0,700	7,641	15,939	90,835

$\tau=L=4$				
S	P	D	M	TC
0	0,112	10,491	16,345	92,774
1	0,202	9,582	16,345	92,319
2	0,332	8,712	16,345	<b>92,100</b>
3	0,507	7,886	16,345	92,144
4	0,728	7,107	16,345	92,471
5	0,999	6,378	16,345	93,097

$\tau=L=5$				
S	P	D	M	TC
0	0,229	9,203	16,29	91,796
1	0,370	8,343	16,29	<b>91,641</b>
2	0,556	7,530	16,29	91,759
3	0,791	6,765	16,29	92,171
4	1,078	6,052	16,29	92,893
5	1,417	5,391	16,29	93,925

$\tau=L=6$				
S	P	D	M	TC
0	0,388	8,537	16,796	<b>94,459</b>
1	0,583	7,731	16,796	94,624
2	0,825	6,974	16,796	95,080
3	1,119	6,267	16,796	95,840
4	1,464	5,612	16,796	96,912
5	1,862	5,010	16,796	98,300

$\tau=7$ $L=\tau^*=6$				
S	P	D	M	TC
0	0,387	8,399	16,647	<b>93,570</b>
1	0,580	7,592	16,647	93,726

$\tau=8$ $L=\tau^*=6$				
S	P	D	M	TC
0	0,395	8,435	16,673	<b>93,773</b>
1	0,591	7,632	16,673	93,954

$\tau=9$ $L=\tau^*=6$				
S	P	D	M	TC
0	0,399	8,468	16,692	<b>93,923</b>
1	0,599	7,668	16,692	94,122

$\tau=10$ $L=\tau^*=6$				
S	P	D	M	TC
0	0,408	8,336	16,573	<b>93,243</b>
1	0,608	7,535	16,573	93,441

$\tau=11$ $L=\tau^*=6$				
S	P	D	M	TC
0	0,405	8,262	16,502	<b>92,796</b>
1	0,602	7,459	16,502	92,979

$\tau=12$ $L=\tau^*=6$				
S	P	D	M	TC
0	0,382	8,492	16,757	<b>94,189</b>
1	0,572	7,682	16,757	94,326

Συνοπτικά τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

S/ $\tau\alpha$	0	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0		92,774	91,796	<b>94,459</b>	<b>93,570</b>	<b>93,773</b>	<b>93,923</b>	<b>93,243</b>	<b>92,796</b>	<b>94,189</b>
1		92,319	<b>91,641</b>	94,624	93,726	93,954	94,122	93,441	92,979	94,326
2		<b>90,353</b>	91,759	95,080						
3		92,144	92,171	95,840						
4		92,471	92,893							
5		93,097								
6										
7	90,606									
8	<b>90,586</b>									
9	90,835									

Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι για χρόνο προειδοποίησης της ζήτησης ίσο με το μηδέν το βέλτιστο απόθεμα έχει την ίδια τιμή  $S^*=8$ , όμως στη συνέχεια η κρίσιμη τιμή του χρόνου προειδοποίησης εμφανίζεται νωρίτερα από ότι στη μεγάλη πιθανότητα ακύρωσης και συγκεκριμένα παίρνει την τιμή  $\tau^*=6$ . Επίσης συγκρίνοντας τα κόστη των δυο συστημάτων βλέπουμε ότι στη τελευταία περίπτωση το κόστος είναι ελάχιστα μεγαλύτερο από το συνολικό κόστος του προηγούμενου συστήματος.

- 2<sup>ο</sup> ΣΥΣΤΗΜΑ-2<sup>η</sup> ΣΕΙΡΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Το επόμενο σύστημα που μελετήσαμε διαφέρει από το παραπάνω σε ότι αφορά το χρόνο επεξεργασίας των τεμαχίων  $\kappa_\lambda$ , στους τέσσερεις σταθμούς εργασίας. Και στην περίπτωση αυτή ο μέσος χρόνος επεξεργασίας του τεμαχίου σε κάθε μια από τις τέσσερεις μηχανές είναι τυχαία μεταβλητή, η οποία όμως ακολουθεί την κατανομή erlang με μέση τιμή  $\beta=0.5$  και σταθερά τυχαίας μεταβλητής  $\kappa=2$ . Όποτε διαμορφώνονται τα δεδομένα του συστήματος ως ακολούθως.

$\Pi$	$\kappa_\lambda$	$\sigma_\lambda$	$h$	$b$
0.2	erlang(0.5,2)	expo(1)	5	1

Η προσομοίωση μας έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα για τους διάφορους χρόνους προειδοποίησης.

$\tau=L=0$				
S	P	D	M	TC
4	0,145	7,033	10,886	62,190
5	0,282	6,170	10,886	<b>62,012</b>
6	0,484	5,371	10,886	62,219
7	0,755	4,643	10,886	62,848
8	1,100	3,987	10,886	63,916
9	1,517	3,404	10,886	65,417

$\tau=L=1$				
S	P	D	M	TC
0	0,003	10,027	11,254	66,314
1	0,018	9,042	11,254	65,403
2	0,058	8,082	11,254	64,644
3	0,138	7,162	11,254	64,124
4	0,271	6,295	11,254	<b>63,922</b>
5	0,467	5,491	11,254	64,098

$\tau=L=2$				
S	P	D	M	TC
0	0,010	8,951	11,181	64,908
1	0,044	7,984	11,181	64,108
2	0,118	7,059	11,181	63,553
3	0,247	6,188	11,181	<b>63,327</b>
4	0,441	5,382	11,181	63,493

$\tau=L=3$				
S	P	D	M	TC
0	0,028	8,062	11,284	64,622
1	0,092	7,126	11,284	64,008
2	0,211	6,245	11,284	<b>63,722</b>
3	0,396	5,429	11,284	63,827

$\tau=L=4$				
S	P	D	M	TC
0	0,067	7,172	11,356	64,287
1	0,174	6,279	11,356	<b>63,930</b>
2	0,346	5,450	11,356	63,960
3	0,590	4,694	11,356	64,424
4	0,909	4,014	11,356	65,341

$\tau=L=5$				
S	P	D	M	TC
0	0,163	6,251	11,329	<b>63,710</b>
1	0,341	5,429	11,329	63,778
2	0,595	4,684	11,329	64,306
3	0,929	4,018	11,329	65,309

$\tau=6$ $L=\tau^*=5$				
S	P	D	M	TC
0	0,159	6,093	11,182	<b>62,797</b>
1	0,335	5,269	11,182	62,854

$\tau=7$ $L=\tau^*=5$				
S	P	D	M	TC
0	0,150	6,496	11,614	<b>65,318</b>
1	0,319	5,663	11,614	65,328

Συνοψίζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα στο πίνακα που ακολουθεί θα πάρουμε.

S/τ	0	1	2	3	4	5	6	7
0		66,314	64,908	64,622	64,287	<b>63,710</b>	<b>62,797</b>	<b>65,318</b>
1		65,403	64,108	64,008	64,581	63,778	62,854	65,328
2		64,644	63,553	<b>63,722</b>	<b>63,960</b>	64,306		
3		64,124	<b>63,327</b>	63,827	64,424			
4	62,190	<b>63,922</b>	63,493					
5	<b>62,012</b>	64,098						
6	62,219							

Το συμπέρασμα που προκύπτει από την παραπάνω βελτιστοποίηση είναι ότι το βέλτιστο απόθεμα για μηδενικό χρόνο προειδοποίησης λαμβάνει την τιμή  $S^*=5$ , μικρότερη από την αντίστοιχη τιμή του προηγούμενου συστήματος. Επίσης μικρότερη είναι και η κρίσιμη τιμή  $\tau^*$ . Αυτό συμβαίνει γιατί ο χρόνος επεξεργασίας κάθε μηχανής έχει μειωθεί με αποτέλεσμα η γραμμή παραγωγής να μπορεί να επεξεργάζεται μεγαλύτερο αριθμό τεμαχίων σε ίσους χρόνους. Αυτό είναι φανερό και αν συγκρίνουμε το μέσο  $wip$  κάθε συστήματος. Πράγματι στην περίπτωση που μελετάμε, το μέσο  $wip$  παίρνει τιμές κοντά στην περιοχή του 11, μικρότερες από τις τιμές του μέσου  $wip$  του προηγούμενου συστήματος που ήταν κοντά στην περιοχή του 16, δηλαδή ο μέσος όρος των τεμαχίων που βρίσκονται στη γραμμή παραγωγής είναι μικρότερος.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε το ίδιο σύστημα αλλάζοντας την πιθανότητα ακύρωσης της ζήτησης σε  $\Pi=0.4$  όποτε θα μεταβληθεί και ο μέσος χρόνος άφιξης μεταξύ των ζητήσεων σε 0.75 ζητήσεις ανά χρονική μονάδα. Τα δεδομένα θα είναι.

Π	$\kappa_{\lambda}$	$\sigma_{\lambda}$	h	b
0.4	erlang(0.5,2)	expo(0.75)	5	1

Για τα δεδομένα αυτά, εκτελώντας προσομοιώσεις για τους διάφορους χρόνους προειδοποίησης θα έχουμε.

$\tau=L=0$				
S	P	D	M	TC
4	0,147	7,017	10,871	62,106
<b>5</b>	0,282	6,153	10,871	<b>61,920</b>
6	0,481	5,351	10,871	62,110
7	0,749	4,619	10,871	62,717
8	1,089	3,360	10,871	63,160
9	1,502	3,373	10,871	65,239



$\tau=L=1$				
S	P	D	M	TC
0	0,012	9,289	11,157	65,136
1	0,042	8,319	11,157	64,315
2	0,107	7,384	11,157	63,701
3	0,219	6,496	11,157	<b>63,378</b>
4	0,392	5,669	11,157	63,412
5	0,632	4,909	11,157	63,857

$\tau=L=2$				
S	P	D	M	TC
0	0,046	8,086	11,304	64,836
1	0,116	7,157	11,304	64,258
2	0,239	6,279	11,304	<b>63,992</b>
3	0,425	5,465	11,304	64,108
4	0,681	4,721	11,304	64,645

$\tau=L=3$				
S	P	D	M	TC
0	0,124	6,948	11,436	64,748
1	0,254	6,078	11,436	<b>64,531</b>
2	0,450	5,274	11,436	64,705
3	0,718	4,542	11,436	65,311

$\tau=L=4$				
S	P	D	M	TC
0	0,279	5,745	11,43	<b>64,289</b>
1	0,494	4,961	11,43	64,581
2	0,784	4,251	11,43	65,323
3	1,152	3,619	11,43	66,528
4	1,594	3,061	11,43	68,182

$\tau=5$ $L=\tau^*=4$				
S	P	D	M	TC
0	0,259	6,051	11,762	<b>66,154</b>
1	0,461	5,254	11,762	66,371

$\tau=6$ $L=\tau^*=4$				
S	P	D	M	TC
0	0,273	5,923	11,622	<b>65,398</b>
1	0,482	5,131	11,622	65,649

$\tau=7$ $L=\tau^*=4$				
S	P	D	M	TC
0	0,268	5,911	11,599	<b>65,246</b>
1	0,474	5,117	11,599	65,481

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα διαμορφώνεται ο εξής πίνακας.

S/ $\tau$	0	1	2	3	4	5	6	7
0		65,136	64,836	64,748	<b>64,289</b>	<b>66,154</b>	<b>65,398</b>	<b>65,246</b>
1		64,315	64,258	<b>64,531</b>	64,581	66,371	65,649	65,481
2		63,701	<b>63,992</b>	64,705				
3		<b>63,378</b>	64,108					
4	62,106	63,412						
5	<b>61,920</b>							
6	62,110							
7	62,717							

Στην περίπτωση αυτή τα γενικά συμπεράσματα είναι ίδια με αυτά που διαπιστώσαμε κατά τη μελέτη που συστήματος με πιθανότητα ακύρωσης  $\Pi=0.2$ . Διαφορά παρατηρείται σε ότι αφορά την κρίσιμη τιμή του χρόνου προειδοποίησης  $\tau^*$  που εμφανίζεται σε χαμηλότερα επίπεδα. Επίσης τόσο σε αυτή την περίπτωση, όσο και στην προηγούμενη, παρατηρούμε μια μικρή αύξηση του κόστους του συστήματος, η οποία οφείλεται στην αύξηση της πιθανότητας ακύρωσης.



• 3<sup>ο</sup> ΣΥΣΤΗΜΑ-3<sup>η</sup> ΣΕΙΡΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Στο σύστημα αυτό τα δεδομένα είναι ίδια με αυτά των προηγούμενων περιπτώσεων με τη διαφορά ότι έχει μεταβληθεί ο μέσος χρόνος κατεργασίας των τεμαχίων στους δύο από τους τέσσερεις σταθμούς εργασίας. Συγκεκριμένα ο μέσος χρόνος κατεργασίας του πρώτου και του τρίτου σταθμού έχουν ως πρωτίστως, ενώ στον δεύτερο και στον τέταρτο σταθμό ο μέσος χρόνος κατεργασίας έχει μειωθεί, δηλαδή σε κάθε χρονική μονάδα επεξεργάζονται περισσότερα τεμάχια από ότι πριν. Αν συμβολίσουμε με  $\kappa_{λ1}$ ,  $\kappa_{λ2}$ ,  $\kappa_{λ3}$ ,  $\kappa_{λ4}$  τους μέσους χρόνους επεξεργασίας κάθε μηχανής αντίστοιχα, τα δεδομένα έχουν ως ακολούθως.

Π	$\kappa_{λ1,3}$	$\kappa_{λ2,4}$	$\sigma_{λ}$	h	b
0.2	expo(1)	expo(0.66)	expo(1)	5	1

Η προσομοίωση για το παραπάνω σύστημα αναμένουμε να μας δώσει μικρότερο  $wip$ , καθώς και μικρότερο βέλτιστο απόθεμα  $S^*$  συγκριτικά με το σύστημα που μελετήσαμε στην πρώτη περίπτωση και αυτό γιατί ο συνολικός χρόνος που επεξεργάζονται τα προϊόντα στη γραμμή παραγωγής είναι τώρα μικρότερος.

Τα αποτελέσματα που πήραμε για τους διάφορους χρόνους προειδοποίησης φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

$\tau=L=0$				
S	P	D	M	TC
2	0,041	8,457	10,413	60,729
3	0,112	7,528	10,413	60,155
4	0,235	6,651	10,413	<b>59,892</b>
5	0,419	5,835	10,413	59,995
6	0,671	5,087	10,413	60,508

$\tau=L=1$				
S	P	D	M	TC
2	0,115	7,138	10,252	58,972
3	0,246	6,269	10,252	<b>58,757</b>
4	0,443	5,466	10,252	58,939
5	0,712	4,735	10,252	59,554

$\tau=L=2$				
S	P	D	M	TC
1	0,093	6,988	10,129	58,097
2	0,218	6,114	10,129	<b>57,849</b>
3	0,413	5,309	10,129	58,019
4	0,684	4,580	10,129	58,644

$\tau=L=3$				
S	P	D	M	TC
0	0,071	7,002	10,175	58,233
1	0,191	6,122	10,175	<b>57,950</b>
2	0,380	5,311	10,175	58,089

$\tau=L=4$				
S	P	D	M	TC
0	0,156	6,454	10,545	<b>59,960</b>
1	0,335	5,632	10,545	60,030

$\tau=5$ $L=\tau^*=4$				
S	P	D	M	TC
0	0,166	6,149	10,216	<b>58,057</b>
1	0,352	5,336	10,216	58,178

Ενώ συνοπτικά τα αποτελέσματα διαμορφώνουν τον εξής πίνακα.

S/τ	0	1	2	3	4	5
0				58,233	<b>59,960</b>	<b>58,057</b>
1			58,097	<b>57,950</b>	60,030	58,178
2	60,729	58,972	<b>57,849</b>	58,089		
3	60,155	<b>58,757</b>	58,019			
4	<b>59,892</b>	58,939	58,644			
5	59,995	59,554				
6	60,508					

Όπως αναφέρθηκε, τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα ήταν αναμενόμενα. Πράγματι το βέλτιστο απόθεμα έχει χαμηλότερη τιμή  $S^*=4$ , όπως και η κρίσιμη τιμή του χρόνου προειδοποίησης  $\tau^*=4$  σε σχέση με το πρώτο σύστημα που μελετήσαμε. Επίσης λόγω της μείωσης του χρόνου επεξεργασίας των προϊόντων στη γραμμή παραγωγής, το μέσο  $wip$  έχει μειωθεί από την τιμή 16 σε 10.

Τώρα μεταβάλλοντας την πιθανότητα ακύρωσης της ζήτησης σε  $\Pi=0.4$ , ο μέσος χρόνος άφιξης μεταξύ των ζητήσεων μειώνεται σε 0.75 ζητήσεις ανά χρονική μονάδα και έχουμε.

$\Pi$	$\kappa_{1,3}$	$\kappa_{2,4}$	$\sigma_\lambda$	$h$	$b$
0.4	$\exp(1)$	$\exp(0.66)$	$\exp(0.75)$	5	1

Σε αυτή την περίπτωση αναμένουμε ποιοτικά παρόμοια αποτελέσματα με ελάχιστα αυξημένο το συνολικό κόστος του συστήματος. Μετά την προσομοίωση λαμβάνουμε τα εξής.

$\tau=L=0$				
S	P	D	M	TC
2	0,040	8,733	10,693	62,395
3	0,108	7,801	10,693	61,807
4	0,228	6,921	10,693	<b>61,526</b>
5	0,408	6,101	10,693	61,608
6	0,655	5,348	10,693	62,089

$\tau=L=1$				
S	P	D	M	TC
1	0,085	7,610	10,409	60,079
2	0,193	6,718	10,409	<b>59,726</b>
3	0,363	5,888	10,409	59,746
4	0,603	5,128	10,409	60,187

$\tau=L=2$				
S	P	D	M	TC
0	0,092	7,132	10,285	59,016
1	0,211	6,251	10,285	<b>58,732</b>
2	0,398	5,438	10,285	58,852
3	0,658	4,698	10,285	59,415

$\tau=L=3$				
S	P	D	M	TC
0	0,231	6,187	10,569	<b>60,185</b>
1	0,427	5,384	10,569	60,364
2	0,698	4,654	10,569	60,987

$\tau=4, L=\tau^*=3$				
S	P	D	M	TC
0	0,235	6,306	10,690	<b>60,931</b>
1	0,435	5,507	10,690	61,134

$\tau=5 L=\tau^*=3$				
S	P	D	M	TC
0	0,227	6,143	10,533	<b>59,942</b>
1	0,425	5,341	10,533	60,130

Συνοψίζοντας θα πάρουμε τον πίνακα που ακολουθεί.

S/ $\tau$	0	1	2	3	4	5
0			59,016	<b>60,185</b>	<b>60,931</b>	<b>59,942</b>
1		60,079	<b>58,732</b>	60,364	61,134	60,130
2	62,395	<b>59,726</b>	58,852	60,987		
3	61,807	59,746	59,415			
4	<b>61,526</b>	60,187				
5	61,608					

Όπως αναμενόταν, το συνολικό κόστος είναι λίγο μεγαλύτερο σε σχέση με τη μικρότερη πιθανότητα ακύρωσης της ζήτησης. Μικρότερη τιμή παίρνει και ο βέλτιστος χρόνος προειδοποίησης  $\tau^*=3$ , ενώ το βέλτιστο απόθεμα ασφάλειας έχει την ίδια τιμή  $S^*=4$ .

• 4<sup>ο</sup> ΣΥΣΤΗΜΑ-4<sup>η</sup> ΣΕΙΡΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει τα δεδομένα του συστήματος της πρώτης περίπτωσης που εξετάσαμε, μόνο που τώρα ο μέσος χρόνος άφιξης των ζητήσεων είναι μικρότερος και ίσος με μια ζήτηση ανά 1.1 χρονική μονάδα. Δηλαδή ο αριθμός των ζητήσεων που εισέρχονται στο σύστημα είναι μεγαλύτερος. Σε συνδυασμό με πιθανότητα ακύρωσης της ζήτησης  $\Pi=0.2$ , η τυχαία μεταβλητή εκθετικής κατανομής θα έχει μέση τιμή  $1.1 \mid (1-\Pi)=0.88$ ,  $\sigma_{\lambda}=\exp(0.88)$ . Συνεπώς θα έχουμε.

$\Pi$	$\kappa_{\lambda}$	$\sigma_{\lambda}$	$h$	$b$
0.2	$\exp(1)$	$\exp(0.88)$	5	1

Μετά την εκτέλεση των πειραμάτων προσομοίωσης προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα.

$\tau=L=0$				
S	P	D	M	TC
19	0,867	21,543	39,678	224,267
<b>20</b>	1,031	20,707	39,678	<b>224,252</b>
21	1,214	19,890	39,678	224,350

$\tau=L=5$				
S	P	D	M	TC
12	0,618	23,098	40,395	228,165
13	0,752	22,232	40,395	227,967
<b>14</b>	0,903	21,383	40,395	<b>227,872</b>
15	1,071	20,551	40,395	227,881
16	1,250	19,737	40,395	227,962

$\tau=L=10$				
S	P	D	M	TC
7	0,670	20,452	38,374	215,674
<b>8</b>	<b>0,821</b>	<b>19,602</b>	<b>38,374</b>	<b>215,575</b>
9	0,990	18,772	38,374	215,594
10	1,181	17,963	38,374	215,740

$\tau=L=15$				
S	P	D	M	TC
3	0,722	20,147	39,680	222,159
<b>4</b>	<b>0,879</b>	<b>19,304</b>	<b>39,680</b>	<b>222,101</b>
5	1,058	18,482	39,680	222,170

$\tau=L=17$				
S	P	D	M	TC
1	0,819	20,193	39,875	223,662
<b>2</b>	<b>0,982</b>	<b>19,357</b>	<b>39,875</b>	<b>223,643</b>
3	1,165	18,540	39,875	223,740

$\tau=L=18$				
S	P	D	M	TC
<b>0</b>	<b>0,838</b>	<b>20,469</b>	<b>40,289</b>	<b>226,106</b>
1	1,010	19,641	40,289	226,135
2	1,201	18,832	40,289	226,283

$\tau=19$ $L=\tau^*=18$				
S	P	D	M	TC
<b>0</b>	<b>0,866</b>	<b>21,301</b>	<b>41,131</b>	<b>231,284</b>
1	1,040	20,475	41,131	231,329

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα διαμορφώνεται ο παρακάτω πίνακας.





S/τα	0	5	10	15	17	18	19
0						226,106	231,284
1					223,662	226,135	231,329
2					223,643		
3				222,159	223,740		
4				222,101			
5				222,170			
6							
7			215,674				
8			215,575				
9			215,594				
10			215,740				
11							
12							
13		227,967					
14		227,872					
15		227,881					
16		227,962					
17							
18							
19	224,267						
20	224,252						
21	224,350						

Σε σχέση με τα αποτελέσματα των προηγούμενων πειραμάτων, στα τελευταία παρατηρούμε μια εντυπωσιακή αύξηση τόσο στο απόθεμα ασφάλειας και στον κρίσιμο χρόνο προειδοποίησης, όσο και στο συνολικό κόστος του συστήματος. Αυτές οι μεγάλες μεταβολές οφείλονται στην αύξηση των εισερχόμενων ζητήσεων, όποτε για να ανταποκριθεί το σύστημα αναγκάζεται να αυξήσει την παραγωγή όποτε ταυτόχρονα αυξάνεται και το μέσο wip, το οποίο αποτελεί παράγοντα με μεγάλο συντελεστή βαρύτητας στον υπολογισμό του κόστους.

Στη συνέχεια, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις θα αυξήσουμε την πιθανότητα ακύρωσης της ζήτησης σε  $\Pi=0.4$ . Κατά συνέπεια θα μειωθεί περισσότερο ο μέσος χρόνος άφιξης των ζητήσεων σε  $1.1 \mid (1-\Pi)=0.66$ , δηλαδή  $\sigma_{\lambda}=\text{expo}(0.66)$ . Όποτε θα έχουμε,

$\Pi$	$\sigma_{\lambda}$	$\sigma_{\lambda}$	$h$	$b$
0.4	$\text{expo}(1)$	$\text{expo}(0.66)$	5	1

και τα ακόλουθα αποτελέσματα.



$\tau=L=0$				
S	P	D	M	TC
19	0,769	21,013	39,242	221,070
<b>20</b>	0,921	20,164	39,242	<b>220,978</b>
21	1,091	19,334	39,242	220,999

$\tau=L=5$				
S	P	D	M	TC
10	0,603	21,656	39,269	221,015
11	0,734	20,787	39,269	220,800
<b>12</b>	0,882	19,935	39,269	<b>220,690</b>
13	1,049	19,102	39,269	220,692
14	1,235	18,287	39,269	220,805

$\tau=L=10$				
S	P	D	M	TC
5	0,773	19,879	39,917	223,327
<b>6</b>	0,928	19,035	39,917	<b>223,261</b>
7	1,103	18,210	39,917	223,312
8	1,298	17,404	39,917	223,479

$\tau=L=11$				
S	P	D	M	TC
2	0,611	20,756	40,458	226,103
3	0,748	20,893	40,458	226,924
<b>4</b>	0,903	20,048	40,458	<b>226,852</b>
5	1,077	19,222	40,458	226,895

$\tau=L=12$				
S	P	D	M	TC
1	0,644	22,209	41,396	232,408
2	0,782	21,348	41,396	232,240
<b>3</b>	0,938	20,504	41,396	<b>232,175</b>
4	1,113	19,678	41,396	232,221

$\tau=L=13$				
S	P	D	M	TC
1	0,779	21,569	42,154	236,233
<b>2</b>	0,935	20,725	42,154	<b>236,171</b>
3	1,110	19,900	42,154	236,221

$\tau=L=14$				
S	P	D	M	TC
0	0,938	20,646	41,586	<b>233,265</b>
1	1,122	19,830	41,586	233,369

$\tau=15$ $L=\tau^*=14$				
S	P	D	M	TC
0	0,897	22,260	43,192	<b>242,703</b>
1	1,068	21,432	43,192	242,732

Τώρα, συνοψίζοντας τα αποτελέσματα σε συγκεντρωτικό πίνακα έχουμε.

S/ $\tau$	0	5	10	11	12	13	14	15
0							<b>233,265</b>	<b>242,703</b>
1					232,408	236,233	233,369	242,732
2				226,103	232,240	<b>236,171</b>		
3				226,924	<b>232,175</b>	236,221		
4				<b>226,852</b>	232,221			
5			223,327	226,895				
6			<b>223,261</b>					
7			223,312					
8			223,479					
9								
10		221,015						
11		220,800						
12		<b>220,690</b>						
13		220,692						
14		220,805						
15								
16								
17								
18								
19	221,070							
20	<b>220,978</b>							
21	220,999							

Τα γενικά συμπεράσματα είναι τα ίδια και στην περίπτωση μεγαλύτερης ακύρωσης της ζήτησης, μόνο που στην περίπτωση αυτή παρατηρούμε μια μικρή αύξηση του συνολικού κόστους του συστήματος καθώς επίσης και μείωση του κρίσιμου χρόνου προειδοποίησης  $\tau^*=14$ . Το βέλτιστο απόθεμα παίρνει τιμή ίση με προηγουμένως  $S^*=20$  για  $\tau=0$ , καθώς επίσης και το μέσο  $wip$  που εξακολουθεί να παίρνει τιμές κοντά στο 40.

4.3 Μια εναλλακτική πολιτική έλεγχου

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε μια διαφορετική πολιτική έλεγχου από αυτή που ακολουθήσαμε στα προαναφερόμενα συστήματα. Στα συστήματα που αναλύσαμε παραπάνω, κάθε εισερχόμενη ζήτηση, αφού καθυστερούσε κατά διάστημα ίσο με το χρόνο προειδοποίησης, κατέληγε σε ένα στάδιο διαχωρισμού και είτε ακυρωνόταν με πιθανότητα Π, είτε προχωρούσε προς παράδοση με πιθανότητα 1-Π. Παράλληλα, κατά την άφιξη μιας ζήτησης, ένα νέο τεμάχιο ξεκινούσε από το χώρο αποθήκευσης πρώτων υλών και αφού καθυστερούσε κατά τη χρονική διάφορα του χρόνου προειδοποίησης μείον του χρόνου υστερήσεις τ-L, έφτανε σε ένα στάδιο έλεγχου όπου το σύστημα εξέταζε αν υπήρχε ακυρωμένη ζήτηση. Αν υπήρχε, τότε το προϊόν κατευθυνόταν έξω από το σύστημα, αποδεσμεύοντας ταυτόχρονα την ακυρωμένη ζήτηση, ενώ στη περίπτωση που δεν εντοπιζόταν ακυρωμένη ζήτηση το προϊόν εισερχόταν στην γραμμή παραγωγής προς επεξεργασία.

Στη νέα πολιτική έλεγχου, την οποία εφαρμόσαμε, κάθε φορά που ένα νέο προϊόν φτάνει στο στάδιο έλεγχου, αυτό είτε απορρίπτεται με πιθανότητα Π ίση με την πιθανότητα απόρριψης της ζήτησης, είτε εισέρχεται στη γραμμή παραγωγής με πιθανότητα 1-Π, ανεξάρτητα από το αν υπάρχει ακυρωμένη ζήτηση στο σύστημα. Δηλαδή τα δυο γεγονότα είναι πλέον ανεξάρτητα το ένα από το άλλο έχοντας μόνο την ίδια πιθανότητα ακύρωσης.

Επόμενο στάδιο ήταν η μεταφορά του συστήματος στο arena, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα της πρώτης περίπτωσης συστήματος που μελετήσαμε παραπάνω και αφού επιβεβαιώσαμε την ορθότητα του μοντέλου, αρχίσαμε την πειραματική διαδικασία για χρόνο προσομοίωσης ίσο με 300.000 χρονικές μονάδες όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις.

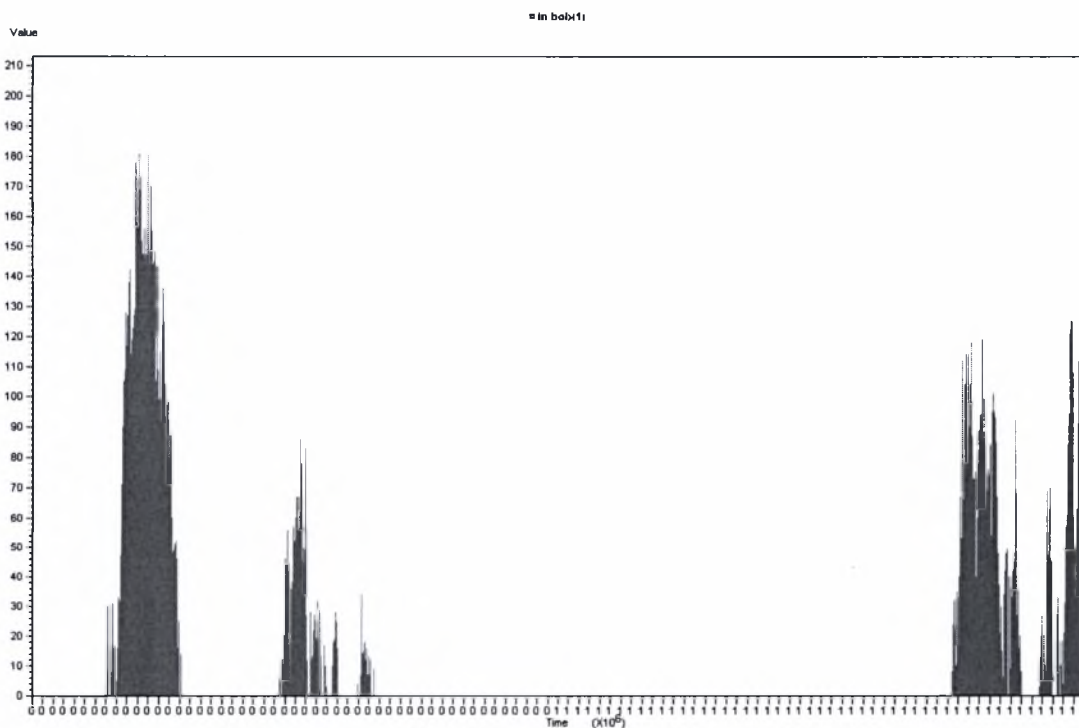
Κατά τη μελέτη του report αποτελεσμάτων, διαπιστώσαμε ότι οι διακριτές μεταβλητές (discrete change variables) που εκφράζουν τις ουρές αναμονής των προϊόντων (bob) και των ζητήσεων (jack), στη στήλη half width, αντί τιμής εμφάνιζαν την ένδειξη correlation. Η περιοχή του report, στην οποία αναφερόμαστε έχει ως εξής.

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in bob	.00766	(Corr)	.00000	9.0000	.00000
# in jack	60.785	(Corr)	.00000	117.00	92.000

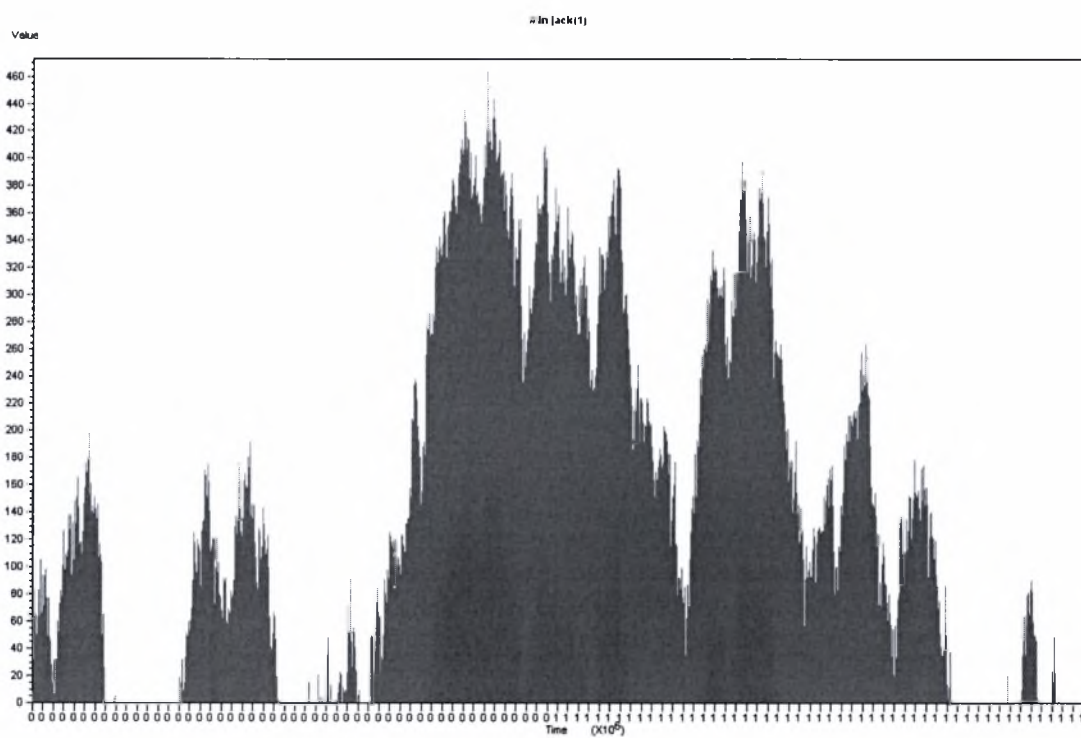
Η ένδειξη correlation στα αποτελέσματα της προσομοίωσης δηλώνει ότι το σύστημα δεν έχει φτάσει σε συνθήκες μόνιμης κατάστασης (steady state) όποτε τα αποτελέσματα δεν είναι αξιόπιστα γιατί οι καμπύλες διακύμανσης των μεταβλητών δεν έχουν σταθεροποιηθεί όποτε δεν υπάρχει ικανοποιητική ευστάθεια στο σύστημα.

Αρχικά θεωρήσαμε ότι τα παραπάνω συμβαίνουν επειδή είναι μικρός ο χρόνος προσομοίωσης και εκτελέσαμε διαδοχικά πειράματα για χρόνους ίσους με 1.000.0000, 5.000.000, 10.000.000 και 20.000.000 χρονικές μονάδες, όμως τα αποτελέσματα παρουσίαζαν τη ίδια εικόνα. Χρησιμοποιήσαμε λοιπόν το προσθετό πρόγραμμα του ARENA, Output Analyzer προκειμένου να πάρουμε πληροφορίες για τη διακύμανση των μεταβλητών κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.

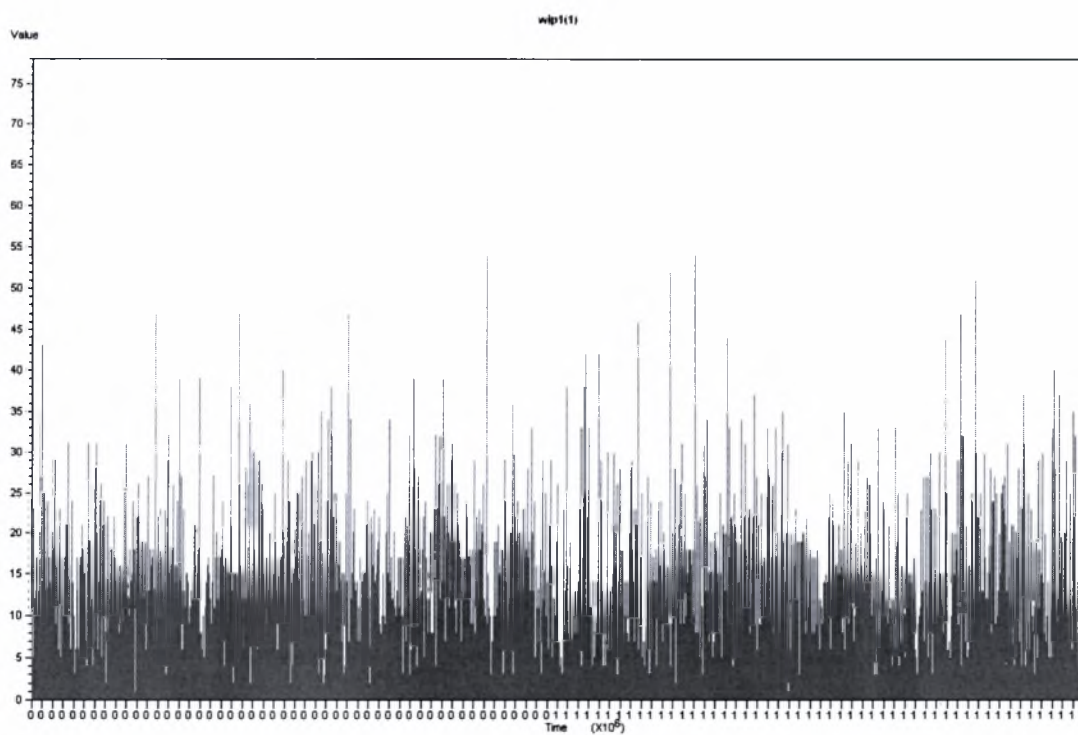


Εικόνα 4.3.1 : Η διακύμανση του μέσου αριθμού προϊόντων σε αναμονή





Εικόνα 4.3.2 : Η διακύμανση του μέσου αριθμού ζητήσεων σε αναμονή



Εικόνα 4.3.3 : Η διακύμανση του μέσου wip

Στα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε τη διακύμανση των μεταβλητών, οι οποίες αναφέρονται στο μέσο αριθμό των τεμαχίων που βρίσκονται σε αναμονή (εικόνα 4.3.1), στο μέσο αριθμό ζητήσεων που βρίσκονται σε αναμονή (εικόνα 4.3.2) και στο μέσο αριθμό τεμαχίων που βρίσκονται στη γραμμή παραγωγής (εικόνα 4.3.3) αντίστοιχα. Στις δυο πρώτες εικόνες φαίνεται καθαρά η ανομοιομορφία που παρουσιάζει η διακύμανση των μεταβλητών και στην οποία οφείλεται η εμφάνιση της ένδειξης correlation στα αποτελέσματα.

Η αστάθεια που παρουσιάζεται εφαρμόζοντας αυτή την πολιτική έλεγχου αποδίδεται στην ανεξαρτησία μεταξύ των δυο σταδίων στα οποία γίνεται η ακύρωση της ζήτησης και της έναρξης της παραγωγής αντίστοιχα. Κάθε στάδιο ακύρωσης λειτουργώντας ανεξάρτητα από το άλλο διαμορφώνει μεμονωμένα αποτελέσματα όποτε το συνολικό σύστημα δεν προσεγγίζει τη μόνιμη κατάσταση. Σε ότι αφορά την τρίτη εικόνα, η διακύμανση του μέσου *wip* παρουσιάζεται ομοιόμορφη κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και δεν εμφανίζει ασάφεια στο report των αποτελεσμάτων.

Τέτοιου είδους συστήματα ονομάζονται μη εργοδικά.



---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

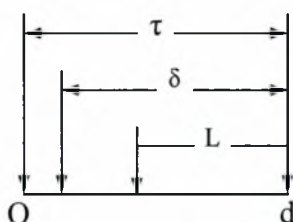
### **ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΠΡΟΘΕΣΜΙΑ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ**

---

## 5. ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΠΡΟΘΕΣΜΙΑ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

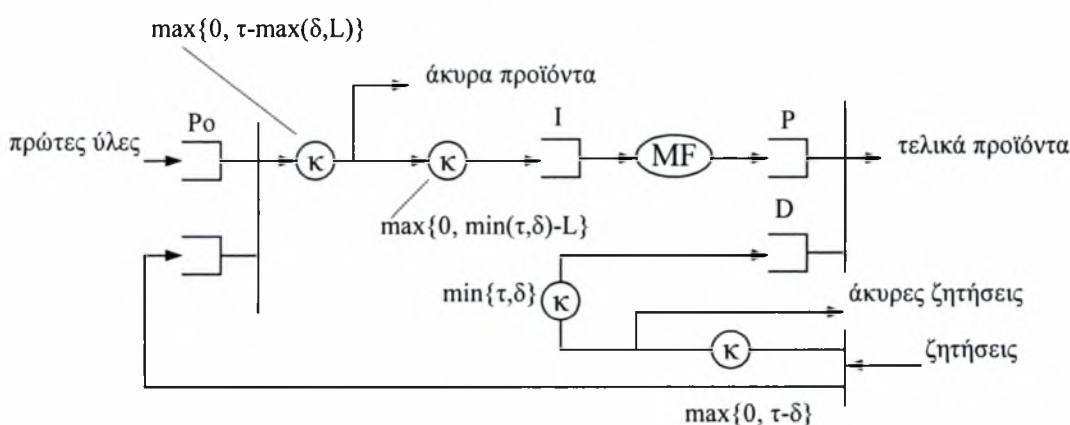
### 5.1 Περιγραφή του συστήματος

Στην συνέχεια περιγράφουμε ένα σύστημα, το οποίο έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτό που περιγράψαμε στο δεύτερο κεφάλαιο και επιπλέον περιλαμβάνει μια νέα μεταβλητή  $\delta$ , την οποία ονομάζουμε προθεσμία επιβεβαίωσης της παραγγελιάς. Η ποσότητα αυτή είναι ίση με το χρονικό διάστημα που το σύστημα απαιτεί να επιβεβαιωθεί η ζήτηση, πριν από την ημερομηνία παράδοσής της.



Σχήμα 5.1.1 : Η προθεσμία επιβεβαίωσης της παραγγελιάς για  $L < \delta < \tau$

Λαμβάνοντας υπόψη το νέο δεδομένο θα πρέπει να αλλάξουν οι καθυστερήσεις των ζητήσεων και των τεμαχίων, πριν και μετά το σημείο απόφασης για ακύρωση. Συγκεκριμένα οι καθυστερήσεις στα τέσσερα σημεία θα πρέπει να περιλαμβάνουν όλες τις δυνατές περιπτώσεις σύγκρισης τιμών των μεταβλητών  $\delta$ ,  $\tau$  και  $L$ .



Σχήμα 5.1.1 : Σύστημα με προθεσμία επιβεβαίωσης της ζήτησης και καθυστέρηση

Για την οριακή περίπτωση όπου το  $\delta$  είναι ίσο με το μηδέν προκύπτει το σύστημα που εξετάσαμε στην πρώτη περίπτωση του τετάρτου κεφαλαίου.

5.2 Αποτελέσματα της προσομοίωσης

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό προσομοίωσης ARENA, μοντελοποιήσαμε το προαναφερόμενο σύστημα και αφού επαληθεύσαμε την ορθότητα του, εκτελέσαμε προσομοιώσεις για δυο τιμές της προθεσμίας επιβεβαίωσης της ζήτησης, για  $\delta=4$  και για  $\delta=14$ , διατηρώντας τη πιθανότητα ακύρωσης της ζήτησης σταθερή και ίση με  $\Pi=0.2$ . Όποτε τα δεδομένα του συστήματος διαμορφώνονται ως εξής.

$\Pi$	$\delta$	$\kappa_{\lambda}$	$\sigma_{\lambda}$	$h$	$b$
0.2	4	$\exp(1)$	$\exp(1)$	5	1

Τα αποτελέσματα για τους διάφορους χρόνους προειδοποίησης φαίνονται στους παρακάτω πίνακες, όπου το P συμβολίζει το μέσο όρο των προϊόντων σε αναμονή, το D το μέσο όρο των ζητήσεων σε αναμονή και το M το μέσο wip. Το συνολικό κόστος του συστήματος συμβολίζεται με TC. Επίσης η έντονη γραφή στα αποτελέσματα συμβολίζει το βέλτιστο απόθεμα και το αντίστοιχο συνολικό κόστος.

$\tau=L=0$				
S	Προϊόντα σε αναμονή (P)	Ζητήσεις σε αναμονή (D)	Μέσο wip (M)	Συνολικό κόστος (TC)
5	0,114	11,038	15,926	91,240
6	0,200	10,123	15,926	90,754
7	0,321	9,245	15,926	90,482
8	0,482	8,406	15,926	<b>90,446</b>
9	0,687	7,611	15,926	90,676

$\tau=L=4$				
S	P	D	M	TC
2	0,086	10,744	15,85	90,422
3	0,171	9,830	15,85	89,935
4	0,295	8,954	15,85	<b>89,680</b>
5	0,464	8,123	15,85	89,691
6	0,681	7,330	15,85	89,984

**$\tau=L=5$** 

<b>S</b>	<b>P</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>TC</b>
0	0,032	11,761	16,153	92,686
1	0,084	10,814	16,153	91,999
2	0,170	9,899	16,153	91,514
<b>3</b>	0,295	9,024	16,153	<b>91,264</b>
4	0,462	8,192	16,153	91,267

 **$\tau=L=6$** 

<b>S</b>	<b>P</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>TC</b>
0	0,069	11,212	16,594	94,527
1	0,148	10,292	16,594	94,002
2	0,265	9,408	16,594	93,703
<b>3</b>	0,423	8,566	16,594	<b>93,651</b>
4	0,627	7,770	16,594	93,875

 **$\tau=L=7$** 

<b>S</b>	<b>P</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>TC</b>
0	0,128	9,945	16,26	91,885
1	0,240	9,057	16,26	91,557
<b>2</b>	0,395	8,212	16,26	<b>91,487</b>
3	0,597	7,414	16,26	91,699
4	0,848	6,665	16,26	92,205

 **$\tau=L=8$** 

<b>S</b>	<b>P</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>TC</b>
0	0,231	8,740	15,94	89,595
<b>1</b>	0,392	7,901	15,94	<b>89,561</b>
2	0,602	7,111	15,94	89,821
3	0,863	6,373	15,94	90,388
4	1,176	5,686	15,94	91,266

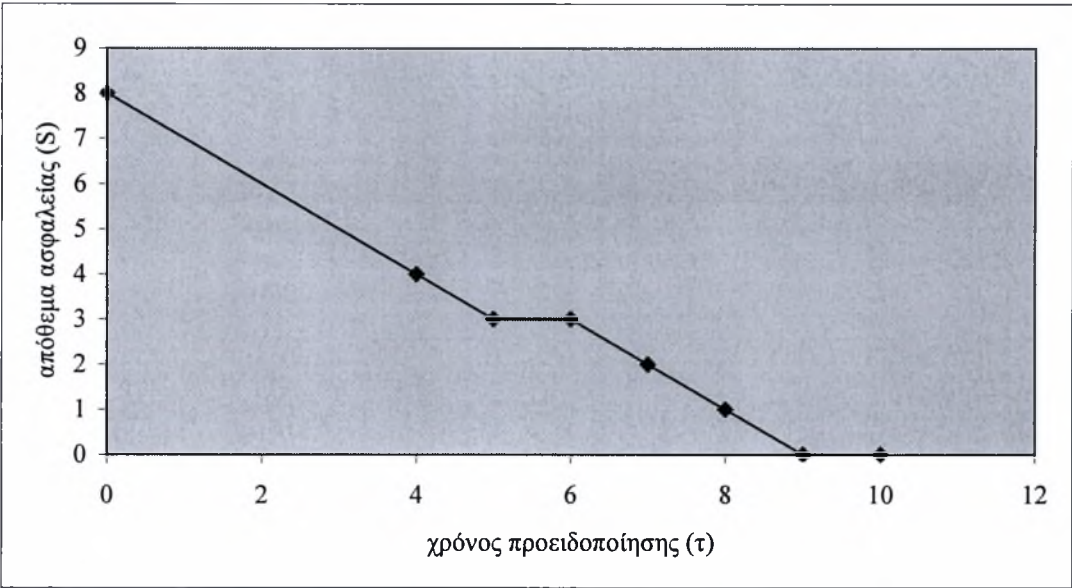
$\tau=L=9$				
S	P	D	M	TC
0	0,340	8,338	16,458	<b>92,328</b>
1	0,533	7,531	16,458	92,486
2	0,776	6,774	16,458	92,944

$\tau=10$ $L=\tau^*=9$				
S	P	D	M	TC
0	0,344	8,299	16,401	<b>92,024</b>
1	0,540	7,494	16,401	92,199

Τα παραπάνω αποτελέσματα διαμορφώνουν τον ακόλουθο συγκεντρωτικό πίνακα.

S/ $\tau$	0	4	5	6	7	8	9	10
0			92,686	94,527	91,885	89,595	<b>92,328</b>	<b>92,024</b>
1			91,999	94,002	91,557	<b>89,561</b>	92,486	92,199
2		90,422	91,514	93,703	<b>91,487</b>	89,821		
3		89,935	<b>91,264</b>	<b>93,651</b>	91,699			
4		<b>89,680</b>	91,267	93,875				
5		89,691						
6		89,984						
7	90,482							
8	<b>90,446</b>							
9	90,676							

Στα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι το βέλτιστο απόθεμα ασφάλειας παίρνει την τιμή  $S^*=8$  για  $\tau=0$  ενώ ο κρίσιμος χρόνος προειδοποίησης την τιμή  $\tau^*=9$ , αυξημένη κατά μια μονάδα σε σχέση με τον αντίστοιχο χρόνο του συστήματος, το οποίο εξετάσαμε στην πρώτη περίπτωση του τέταρτου κεφαλαίου όπου θεωρητικά ήταν  $\delta=0$ . Επίσης στα ίδια επίπεδα παραμένει και το συνολικό κόστος του συστήματος. Στο διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζεται το βέλτιστο απόθεμα ασφάλειας συναρτήσει του χρόνου προειδοποίησης της ζήτησης.



Διάγραμμα 5.2.1 : Το βέλτιστο απόθεμα  $S^*$  συναρτήσει του χρόνου προειδοποίησης  $\tau$

Τώρα μεταβάλλοντας την προθεσμία επιβεβαίωσης της παραγγελιάς σε  $\delta=14$ , διαμορφώνονται τα ακόλουθα δεδομένα.

Π	δ	κλ	σλ	h	b
0.2	14	expo(1)	expo(1)	5	1

Οπότε, εκτελώντας προσομοιώσεις για διάφορες τιμές του χρόνου προειδοποίησης παίρνουμε τα εξής αποτελεσματα.

τ=L=0				
S	P	D	M	TC
6	0,200	10,123	15,926	90,753
7	0,321	9,245	15,926	90,480
8	0,481	8,405	15,926	90,440
9	0,687	7,610	15,926	90,675
10	0,940	6,863	15,926	91,193



**$\tau=L=4$** 

<b>S</b>	<b>P</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>TC</b>
4	0,285	9,011	15,926	90,066
<b>5</b>	0,448	8,173	15,926	<b>90,043</b>
6	0,658	7,383	15,926	90,303
7	0,917	6,642	15,926	90,857
8	1,226	5,952	15,926	91,712

 **$\tau=L=5$** 

<b>S</b>	<b>P</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>TC</b>
2	0,132	10,058	15,926	90,348
3	0,242	9,168	15,926	90,008
<b>4</b>	0,393	8,319	15,926	<b>89,914</b>
5	0,592	7,518	15,926	90,108
6	0,841	6,767	15,926	90,602

 **$\tau=L=6$** 

<b>S</b>	<b>P</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>TC</b>
0	0,038	11,164	15,926	90,984
1	0,101	10,228	15,926	90,363
2	0,201	9,327	15,926	89,962
<b>3</b>	0,342	8,468	15,926	<b>89,808</b>
4	0,529	7,655	15,926	89,930

 **$\tau=L=7$** 

<b>S</b>	<b>P</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>TC</b>
0	0,073	10,399	15,926	90,394
1	0,162	9,489	15,926	89,929
<b>2</b>	0,292	8,619	15,926	<b>89,709</b>
3	0,469	7,795	15,926	89,770
4	0,695	7,021	15,926	90,126

$\tau=L=8$				
S	P	D	M	TC
0	0,126	9,653	15,926	89,913
1	0,245	8,773	15,926	89,628
2	0,410	7,938	15,926	<b>89,618</b>
3	0,625	7,152	15,926	89,907

$\tau=L=9$				
S	P	D	M	TC
0	0,200	8,928	15,926	89,558
1	0,355	8,082	15,926	<b>89,487</b>
2	0,558	7,286	15,926	89,706

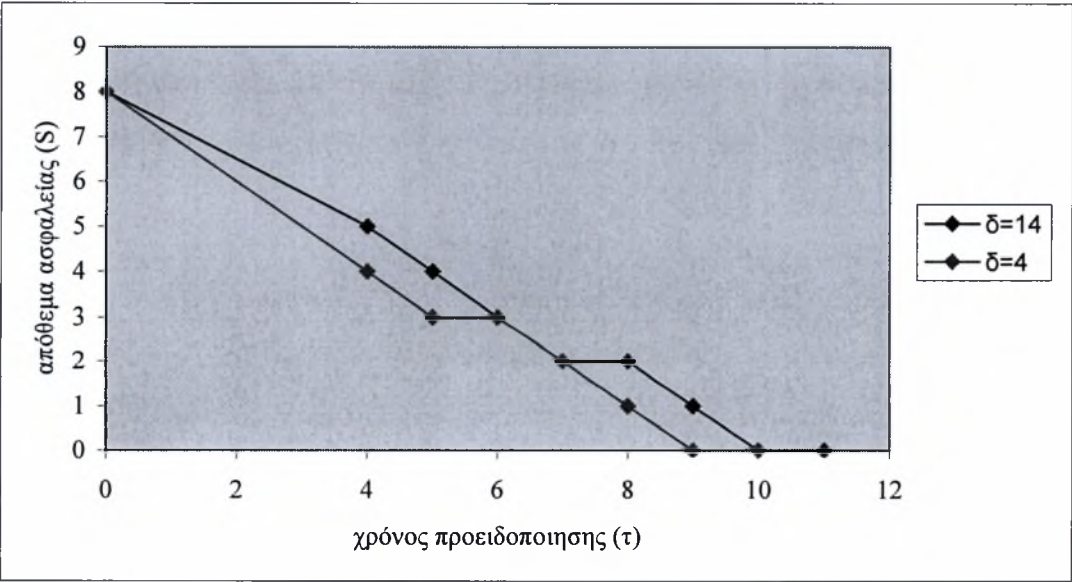
$\tau=L=10$				
S	P	D	M	TC
0	0,301	8,229	15,926	<b>89,364</b>
1	0,493	7,421	15,926	89,516
2	0,737	6,665	15,926	89,980

$\tau=11$ $L=\tau^*=10$				
S	P	D	M	TC
0	0,302	8,044	15,722	<b>88,164</b>
1	0,496	7,238	15,722	88,328

Συνοπτικά τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

s/t	0	4	5	6	7	8	9	10	11
0				90,984	90,394	89,913	89,558	<b>89,364</b>	<b>88,164</b>
1				90,363	89,929	89,628	<b>89,487</b>	89,516	88,328
2			90,348	89,962	<b>89,709</b>	<b>89,618</b>	89,706		
3			90,008	<b>89,808</b>	89,770	89,907			
4		90,066	<b>89,914</b>	89,930					
5		<b>90,043</b>	90,108						
6	90,753	90,303							
7	90,480								
8	<b>90,440</b>								
9	90,675								
10	91,193								

Στην περίπτωση που εξετάζουμε το βέλτιστο απόθεμα παίρνει την τιμή  $S^*=8$  για  $\tau=0$  ενώ ο βέλτιστος χρόνος προειδοποίησης την τιμή  $\tau^*=10$ . Συγκρίνοντας τους δυο τελευταίους συγκεντρωτικούς πίνακες παρατηρούμε ότι για  $\delta=14$  το συνολικό κόστος του συστήματος παρουσιάζεται μικρότερο. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι καμπύλες του βέλτιστου αποθέματος έναντι του χρόνου προειδοποίησης για τις δυο τιμές του χρόνου προθεσμίας που εξετάσαμε.



Διάγραμμα 5.2.2 : Συγκριτικά η μεταβολή του  $S^*$  συναρτήσει του  $\tau$  για  $\delta=4$  και  $\delta=14$

---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

---

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Ανάλυση και σύγκριση αποτελεσμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την ανάλυση και σύγκριση των αποτελεσμάτων, τα οποία εξήχθησαν από τη βελτιστοποίηση των συστημάτων που περιγράφηκαν προηγουμένως. Το απλό σύστημα basestock ενός σταδίου έχει μελετηθεί σε παλαιότερη διπλωματική εργασία και συγκεκριμένα στην [7], όπου στο σύστημα δεν υπήρχε ακύρωση της ζήτησης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν τότε, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

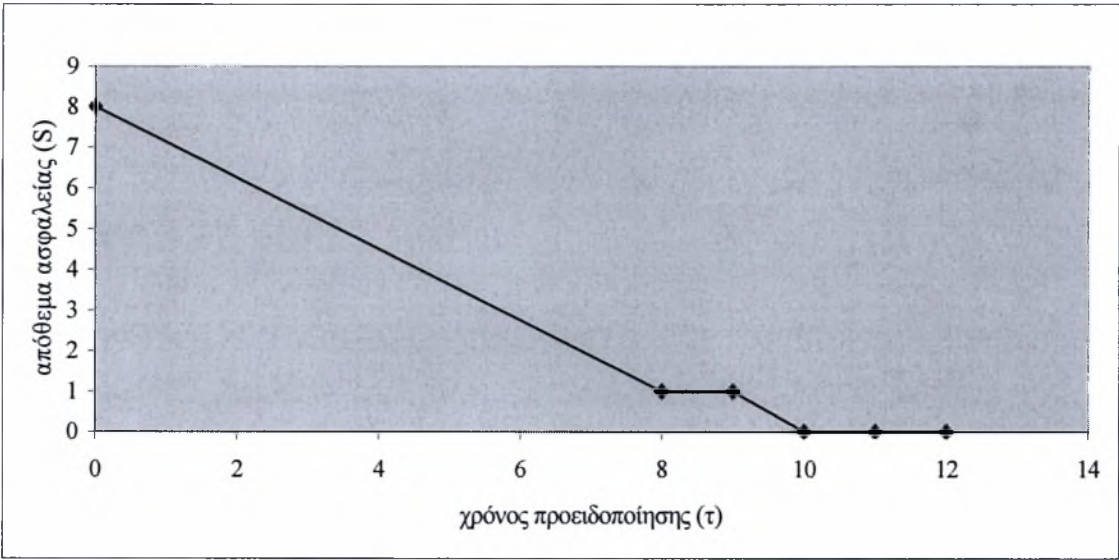
$\kappa_{\lambda}$	$\sigma_{\lambda}$	$h$	$b$
expo(1)	expo(1)	5	1

Η προσομοίωση του συστήματος για τα δεδομένα αυτά, είχε δώσει συγκεντρωτικά τα εξής αποτελέσματα, για τους διάφορους χρόνους προειδοποίησης της ζήτησης.

$S/\tau$	0	8	9	10	11	12
0				88,817	88,790	89,757
1		89,611	90,049	88,998	88,941	89,894
2		89,638	90,259			
3						
4						
5						
6						
7	90,028					
8	90,014					
9	90,274					

Στον πίνακα βλέπουμε ότι το βέλτιστο απόθεμα για την περίπτωση αυτή παίρνει την τιμή  $S^*=8$  για  $\tau=0$ , ενώ η κρίσιμη τιμή του χρόνου προειδοποίησης την τιμή  $\tau^*=10$ . Η

μεταβολή του βέλτιστου αποθέματος ασφαλείας συναρτήσει του χρόνου προειδοποίησης της ζήτησης παρίσταται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Διάγραμμα 5.1.1 : Το βέλτιστο απόθεμα ασφαλείας συναρτήσει του χρόνου προειδοποίησης

Στο σύστημα που εξετάσαμε στην πρώτη περίπτωση του προηγούμενου κεφαλαίου και για πιθανότητα ακύρωσης  $\Pi=0.2$ , είχαμε τα εξής δεδομένα.

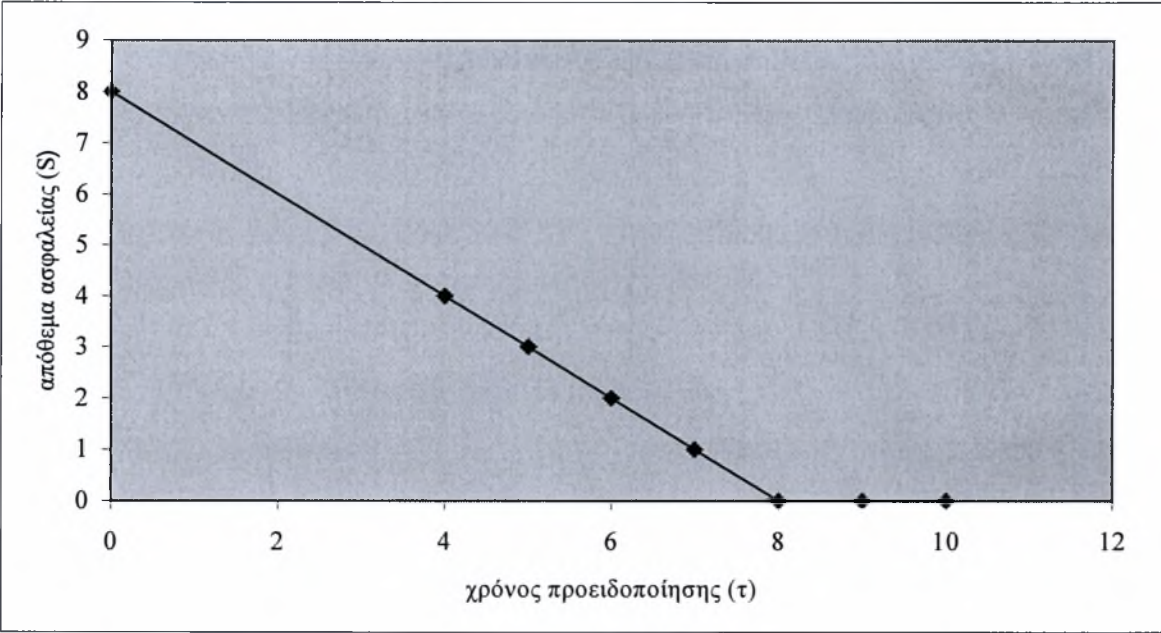
Π	κλ	σλ	h	b
0.2	expo(1)	expo(1)	5	1

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα που ακολουθεί.

S/τ	0	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0				92,376	91,081	92,161	90,030	90,456	90,809	89,962
1			93,271	92,031	90,973	92,302	90,255	90,603	90,944	90,144
2		90,353	92,893	91,942	91,147	92,743				
3		90,048	92,757	92,138	91,618					
4		89,998	92,886	92,638						
5		90,226								
6										
7	90,482									
8	90,446									
9	90,676									



Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η μεταβολή του βέλτιστου αποθέματος ασφάλειας συναρτήσει του χρόνου προειδοποίησης της ζήτησης.



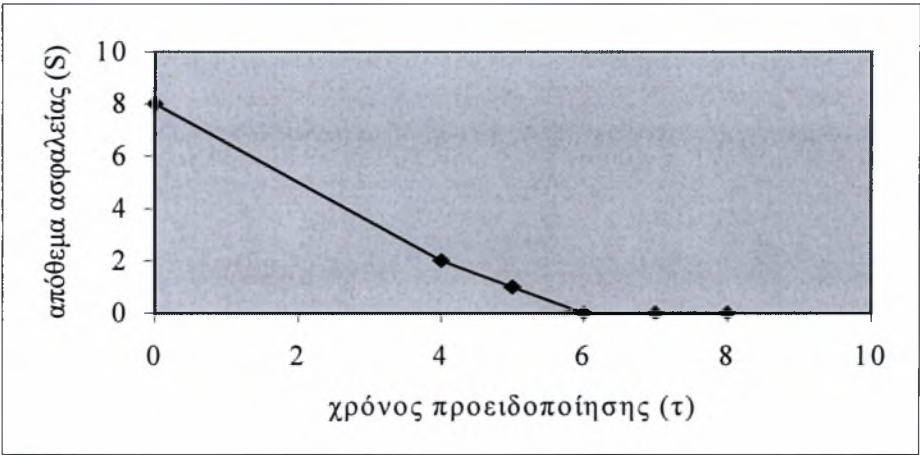
Διάγραμμα 5.1.2 : Το  $S^*$  συναρτήσει του  $\tau$  για το πρώτο σύστημα και  $\Pi=0.2$

Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων διαπιστώνουμε ότι το βέλτιστο απόθεμα ασφάλειας παίρνει την ίδια τιμή  $S^*=8$  για  $\tau=0$  και στις δυο περιπτώσεις. Σε ότι αφορά την κρίσιμη τιμή του χρόνου προειδοποίησης, στη περίπτωση του συστήματος με ακύρωση της ζήτησης, αυτή παρουσιάζεται μειωμένη στην τιμή  $\tau^*=8$  από  $\tau^*=10$ , που έπαιρνε στην περίπτωση του απλού basestock.

Τώρα διατηρώντας τα παραπάνω δεδομένα ως έχουν και αυξάνοντας την πιθανότητα ακύρωσης σε  $\Pi=0.4$  τα αποτελέσματα είναι τα εξής.

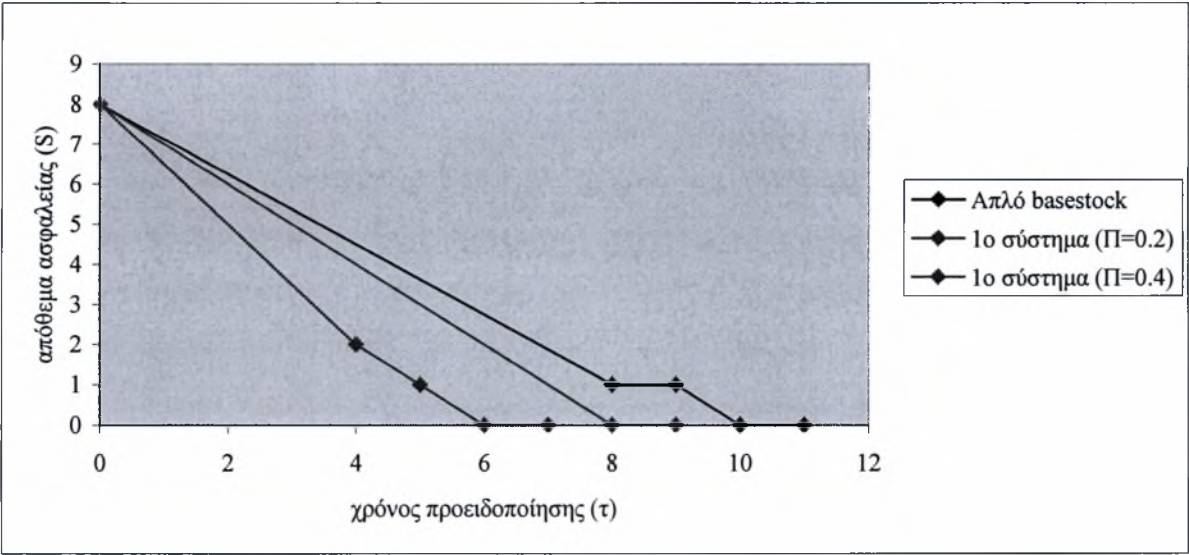
S/τα	0	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0		92,774	91,796	94,459	93,570	93,773	93,923	93,243	92,796	94,189
1		92,319	91,641	94,624	93,726	93,954	94,122	93,441	92,979	94,326
2		90,353	91,759	95,080						
3		92,144	92,171	95,840						
4		92,471	92,893							
5		93,097								
6										
7	90,606									
8	90,586									
9	90,835									

Ενώ το αντίστοιχο διάγραμμα μεταβολής του  $S^*$  συναρτήσει του  $\tau$ , έχει ως εξής.



Διάγραμμα 5.1.3 : Το  $S^*$  συναρτήσει του  $\tau$  για το πρώτο σύστημα και  $\Pi=0.4$

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι καθώς η πιθανότητα ακύρωσης της ζήτησης αυξάνεται, μειώνεται η κρίσιμη τιμή του χρόνου προειδοποίησης, ενώ το βέλτιστο απόθεμα ασφάλειας παραμένει σταθερό. Σε ότι αφορά το συνολικό κόστος του συστήματος, αυτό αυξάνεται ελάχιστα κατά την αύξηση της πιθανότητας ακύρωσης της ζήτησης. Συγκριτικά τα παραπάνω φαίνονται στο ακόλουθο γράφημα, όπου η πρώτη καμπύλη αναφέρεται στο απλό σύστημα basestock και η δεύτερη καθώς και η τρίτη στο σύστημα με ακύρωση της ζήτησης με πιθανότητα  $\Pi=0.2$  και  $\Pi=0.4$  αντίστοιχα.



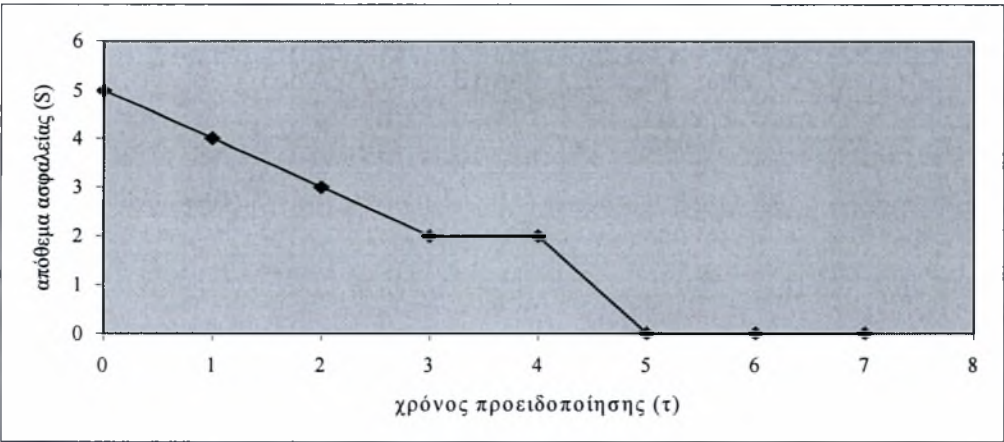
Διάγραμμα 5.1.4 : Συγκριτικά το  $S^*$  συναρτήσει του  $\tau$

Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε το σύστημα της πρώτης περίπτωσης με αυτό της δεύτερης και συγκεκριμένα την επίδραση της αλλαγής του χρόνου επεξεργασίας των μηχανών, ο οποίος τώρα δεν ακολουθεί την εκθετική κατανομή αλλά την κατανομή erlang. Για πιθανότητα ακύρωσης της ζήτησης  $\Pi=0.2$  τα δεδομένα και τα αποτελέσματα του συστήματος παρουσιάζονται αντίστοιχα στους πίνακες που ακολουθούν.

$\Pi$	$\kappa_{\lambda}$	$\sigma_{\lambda}$	$h$	$b$
0.2	erlang(0.5,2)	expo(0.75)	5	1

$S/\tau$	0	1	2	3	4	5	6	7
0		66,314	64,908	64,622	64,287	<b>63,710</b>	<b>62,797</b>	<b>65,318</b>
1		65,403	64,108	64,008	64,581	63,778	62,854	65,328
2		64,644	63,553	<b>63,722</b>	<b>63,960</b>	64,306		
3		64,124	<b>63,327</b>	63,827	64,424			
4	62,190	<b>63,922</b>	63,493					
5	<b>62,012</b>	64,098						
6	62,219							

Μελετώντας τον πίνακα αποτελεσμάτων παρατηρούμε μείωση του βέλτιστου αποθέματος σε  $S^*=5$ , και μείωση του βέλτιστου χρόνου προειδοποίησης  $\tau^*=5$ . Επίσης παρατηρούμε μια σημαντική μείωση του συνολικού κόστους του συστήματος και αυτό οφείλεται στο γεγονός της αύξησης της ταχύτητας επεξεργασίας των σταθμών εργασίας. Στο διάγραμμα που ακολουθεί, παρίσταται το απόθεμα ασφάλειας έναντι του χρόνου προειδοποίησης.



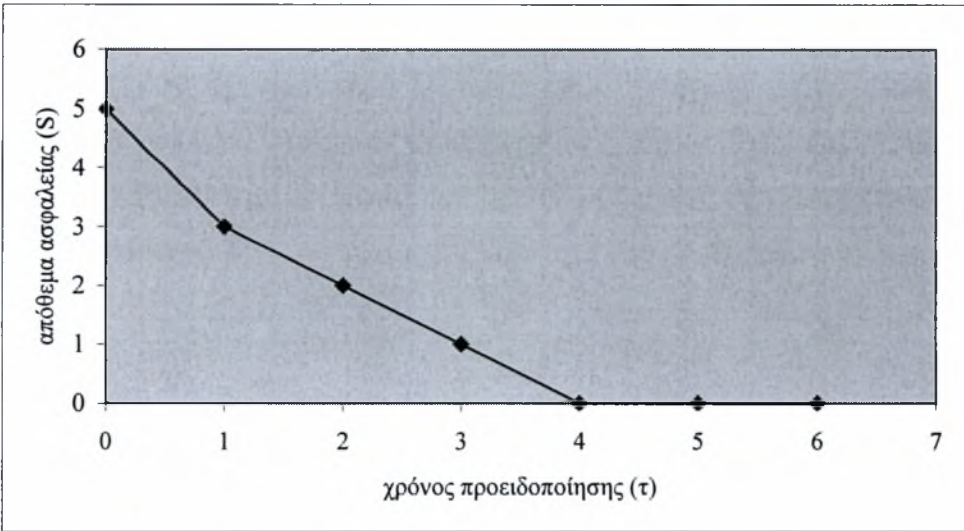
Διάγραμμα 5.1.5 : Το  $S^*$  συναρτήσει του  $\tau$  για το δεύτερο σύστημα και  $\Pi=0.2$

Για τη μεγαλύτερη ακύρωση της ζήτησης  $\Pi=0.4$ , έχουμε τα εξής δεδομένα και αποτελέσματα.

$\Pi$	$\kappa_\lambda$	$\sigma_\lambda$	$h$	$B$
0.4	erlang(0.5,2)	Expo(0.75)	5	1

$S/\tau a$	0	1	2	3	4	5	6	7
0		65,136	64,836	64,748	<b>64,289</b>	<b>66,154</b>	<b>65,398</b>	<b>65,246</b>
1		64,315	64,258	<b>64,531</b>	64,581	66,371	65,649	65,481
2		63,701	<b>63,992</b>	64,705				
3		<b>63,378</b>	64,108					
4	62,106	63,412						
5	<b>61,920</b>							
6	62,110							
7	62,717							

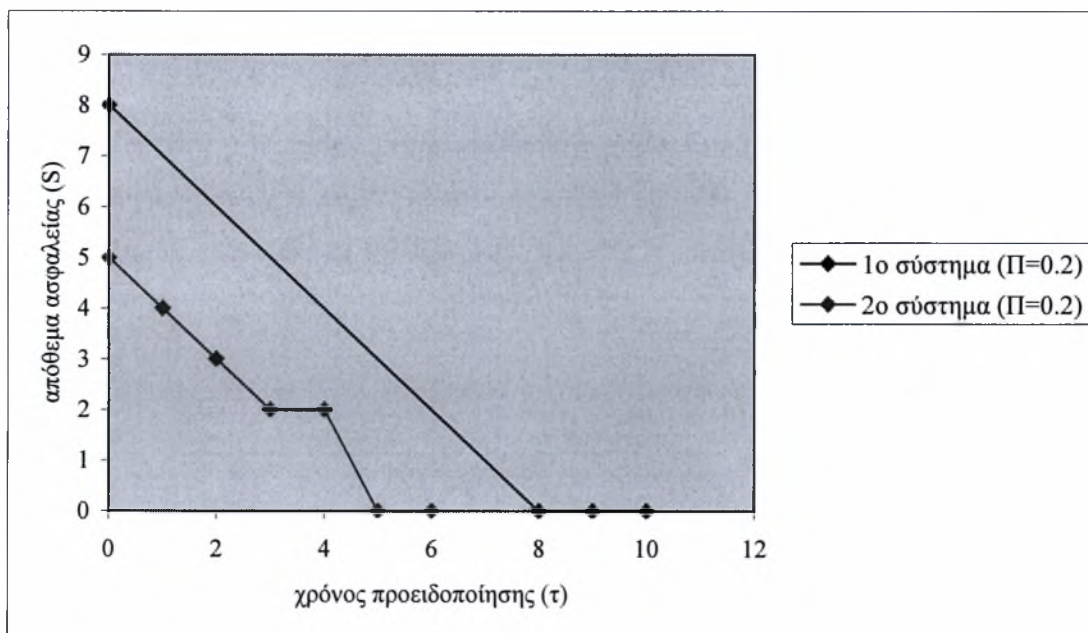
Η σύγκριση των δυο τελευταίων συστημάτων μας δείχνει ότι για μεγαλύτερη πιθανότητα ακύρωσης το βέλτιστο απόθεμα δεν μεταβάλλεται, όμως μειώνεται κατά μια χρονική μονάδα ο κρίσιμος χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης  $\tau^*=4$ . Το βέλτιστο κόστος του συστήματος γενικά δεν μεταβάλλεται αφού όπως βλέπουμε στους συγκεντρωτικούς πίνακες αλλού εμφανίζεται ελάχιστα μικρότερο και αλλού ελάχιστα μεγαλύτερο. Το αντίστοιχο διάγραμμα αποθέματος ασφάλειας έναντι του χρόνου προειδοποίησης για αυτό το σύστημα φαίνεται παρακάτω.



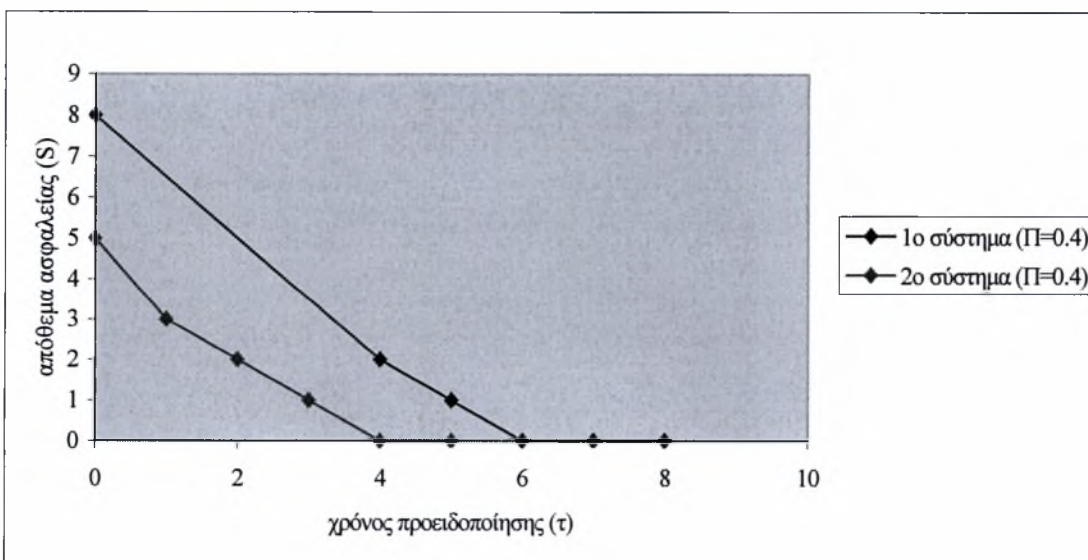
Διάγραμμα 5.1.6 : Το  $S^*$  συναρτήσει του  $\tau$  για το δεύτερο σύστημα και  $\Pi=0.4$



Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζονται συγκριτικά οι καμπύλες του βέλτιστου αποθέματος συναρτήσει του χρόνου προειδοποίησης για κάθε μια πιθανότητα ακύρωσης, των συστημάτων της πρώτης και της δεύτερης περίπτωσης αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5.1.7 : Συγκριτικά τα δυο συστήματα για  $\Pi=0.2$



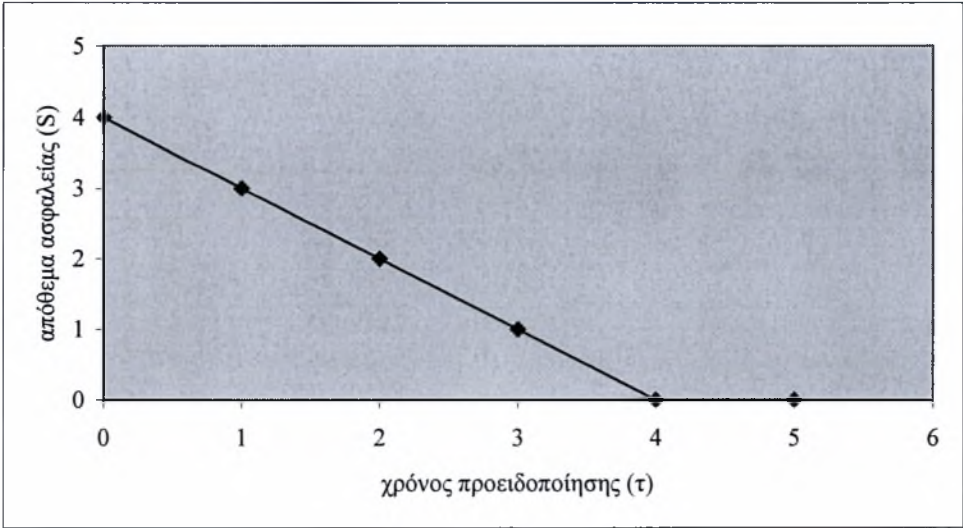
Διάγραμμα 5.1.8 : Συγκριτικά τα δυο συστήματα για  $\Pi=0.4$

Στο σημείο αυτό θα συγκρίνουμε τα προηγούμενα αποτελέσματα με αυτά που προέκυψαν από τη μελέτη του τρίτου συστήματος, όπου ο χρόνος επεξεργασίας των μηχανών ακολουθούσε την εκθετική κατανομή, με μέση τιμή 1 για την πρώτη και την τρίτη μηχανή και μέση τιμή 0.66 για την δεύτερη και την τέταρτη. Τα δεδομένα και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το τρίτο σύστημα έχουν ως εξής.

Π	$\kappa_{\lambda,3}$	$\kappa_{\lambda,4}$	$\sigma_{\lambda}$	H	b
0.2	expo(1)	expo(0.66)	expo(1)	5	1

S/τ	0	1	2	3	4	5
0				58,233	<b>59,960</b>	<b>58,057</b>
1			58,097	<b>57,950</b>	60,030	58,178
2	60,729	58,972	<b>57,849</b>	58,089		
3	60,155	<b>58,757</b>	58,019			
4	<b>59,892</b>	58,939	58,644			
5	59,995	59,554				
6	60,508					

Το αντίστοιχο διάγραμμα βέλτιστου αποθέματος έναντι του χρόνου προειδοποίησης παρίσταται παρακάτω.



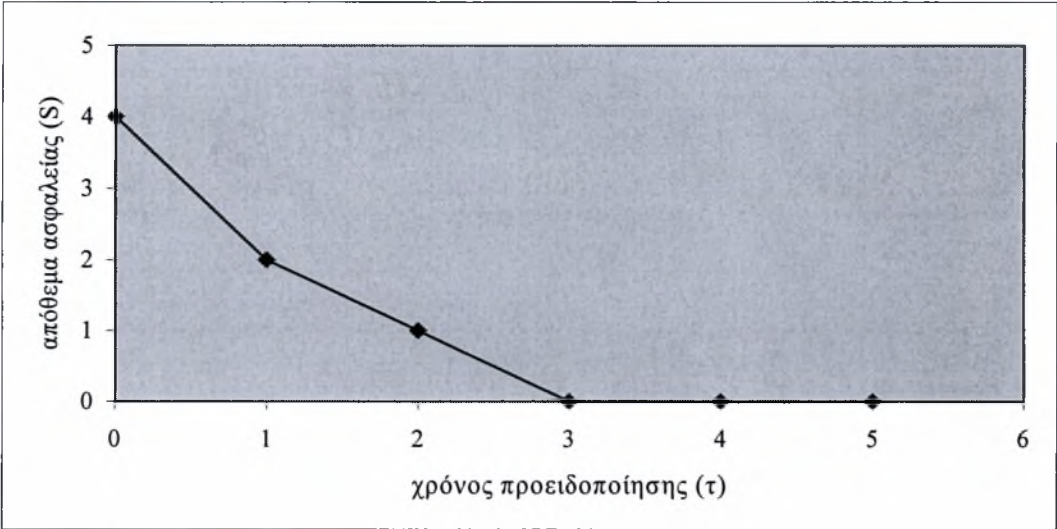
Διάγραμμα 5.1.9 : Το S\* συνάρτησει του τ για το τρίτο σύστημα και Π=0.2



Επίσης για μεγαλύτερη πιθανότητα ακύρωσης  $\Pi=0.4$ , τα δεδομένα, αποτελέσματα και το αντίστοιχο διάγραμμα έχουν ως ακολούθως.

$\Pi$	$\kappa_{\lambda 1,3}$	$\kappa_{\lambda 2,4}$	$\sigma_{\lambda}$	$h$	$b$
0.4	$\text{expo}(1)$	$\text{expo}(0.66)$	$\text{expo}(0.75)$	5	1

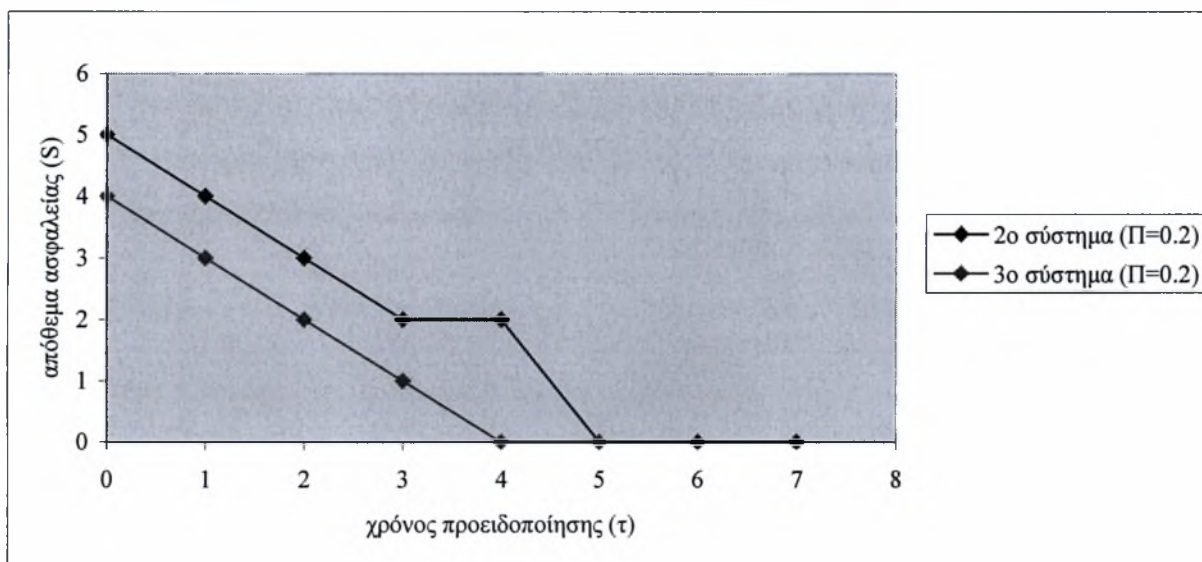
$S/\tau$	0	1	2	3	4	5
0			59,016	60,185	60,931	59,942
1		60,079	58,732	60,364	61,134	60,130
2	62,395	59,726	58,852	60,987		
3	61,807	59,746	59,415			
4	61,526	60,187				
5	61,608					



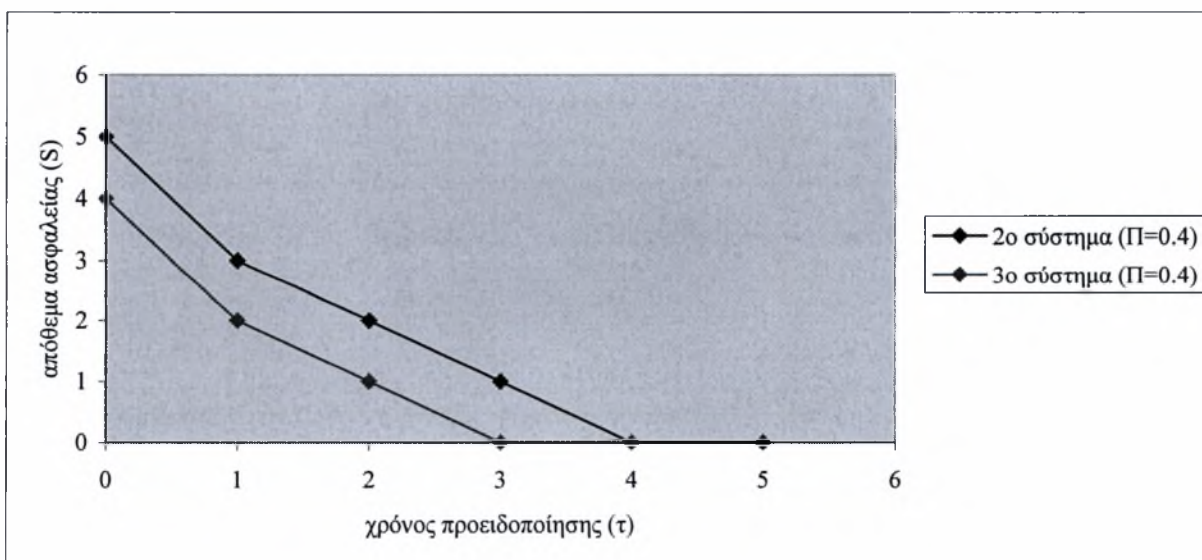
Διάγραμμα 5.1.10 : Το  $S^*$  συναρτήσει του  $\tau$  για το τρίτο σύστημα και  $\Pi=0.4$

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αυτά του συστήματος της προηγούμενης περίπτωσης διαπιστώνουμε ότι στην παρούσα περίπτωση, το βέλτιστο απόθεμα ασφάλειας καθώς και η κρίσιμη τιμή του χρόνου προειδοποίησης, παίρνουν χαμηλότερη τιμή. Συγκεκριμένα, οι βέλτιστες τιμές είναι  $S^*=4$  και  $\tau^*=4$  για  $\Pi=0.2$  και  $S^*=4$  και  $\tau^*=3$  για  $\Pi=0.4$ . Παράλληλα παρουσιάζεται μια μικρή μείωση στο συνολικό κόστος του συστήματος. Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι στο τελευταίο σύστημα οι σταθμοί εργασίας

έχουν συνολικά μικρότερους χρόνους επεξεργασίας. Σε κοινό διάγραμμα, το οποίο παρίσταται στη συνέχεια, απεικονίζονται τα βέλτιστα αποθέματα ασφάλειας  $S^*$  συναρτήσει των χρόνων προειδοποίησης της ζήτησης  $\tau$  για τα εν λόγω συστήματα και για πιθανότητες ακύρωσης  $\Pi=0.2$  και  $\Pi=0.4$  αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5.1.11 : Συγκριτικά το δεύτερο και τρίτο σύστημα για  $\Pi=0.2$



Διάγραμμα 5.1.12 : Συγκριτικά το δεύτερο και τρίτο σύστημα για  $\Pi=0.4$

Το τέταρτο και τελευταίο σύστημα που μελετήσαμε, χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες Παράμετροι με αυτές του συστήματος της πρώτης περίπτωσης με τη διάφορα ότι ο μέσος χρόνος άφιξης των ζητήσεων ήταν μικρότερος δηλαδή ο αριθμός των εισερχόμενων ζητήσεων σε ίσα χρονικά διαστήματα ήταν μεγαλύτερος. Τα δεδομένα και τα αποτελέσματα του τετάρτου συστήματος φαίνονται στους ακόλουθους πίνακες.

Π	κλ	σλ	h	b
0.2	expo(1)	Expo(0.88)	5	1

S/τα	0	5	10	15	17	18	19
0						226,106	231,284
1					223,662	226,135	231,329
2					223,643		
3				222,159	223,740		
4				222,101			
5				222,170			
6							
7			215,674				
8			215,575				
9			215,594				
10			215,740				
11							
12							
13		227,967					
14		227,872					
15		227,881					
16		227,962					
17							
18							
19	224,267						
20	224,252						
21	224,350						

Στα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε μια αξιοσημείωτη αύξηση του βέλτιστου αποθέματος και του βέλτιστου χρόνου προειδοποίησης στις τιμές S\*=20 και τ\*=18 αντίστοιχα καθώς επίσης και του συνολικού κόστους του συστήματος. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αύξηση της ζήτησης αφού το σύστημα έχει κοινά τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του. Για να αντεπεξέλθει το σύστημα στην αύξησης της ζήτησης, αυξάνονται

οι τιμές των μεταβλητών, οι οποίες επηρεάζουν άμεσα το συνολικό του κόστος όπως ο μέσος χρόνος επεξεργασίας των τεμαχίων στη γραμμή παραγωγής.

Τώρα για το σύστημα με την μεγαλύτερη πιθανότητα ακύρωσης τα δεδομένα και τα αποτελέσματα αντίστοιχα, έχουν ως εξής.

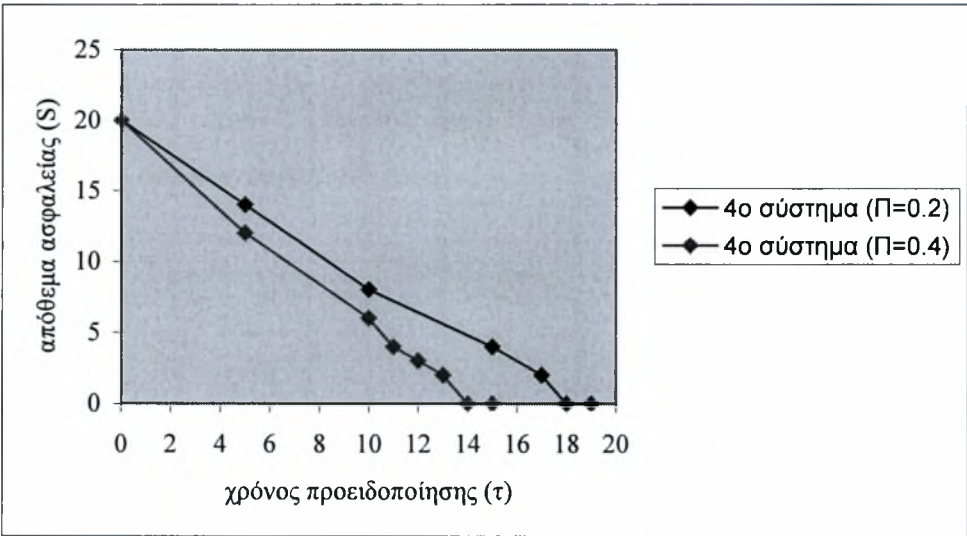
Π	σλ	Σλ	h	b
0.4	expo(1)	Expo(0.66)	5	1

S/τα	0	5	10	11	12	13	14	15
0							233,265	242,703
1					232,408	236,233	233,369	242,732
2				226,103	232,240	236,171		
3				226,924	232,175	236,221		
4				226,852	232,221			
5			223,327	226,895				
6			223,261					
7			223,312					
8			223,479					
9								
10		221,015						
11		220,800						
12		220,690						
13		220,692						
14		220,805						
15								
16								
17								
18								
19	221,070							
20	220,978							
21	220,999							

Εξίσου μεγάλη αύξηση με προηγουμένως παρατηρείται και σε αυτό το σύστημα όπου το βέλτιστο απόθεμα ασφάλειας παίρνει την ίδια τιμή S\*=20 για τ=0 αλλά μειώνεται ο κρίσιμος χρόνος προειδοποίησης τη ζήτησης από τ\*=18 σε τ\*=14.

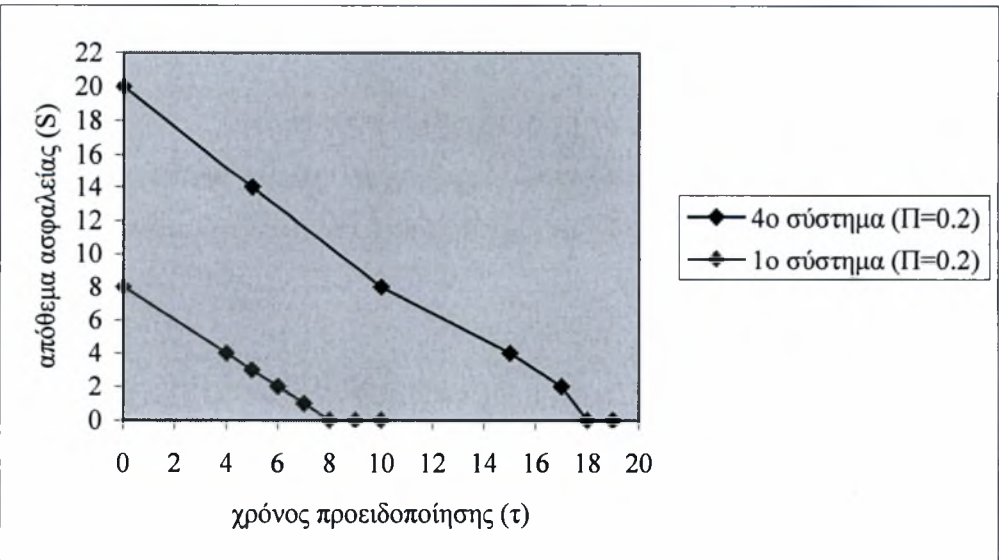
Οι αντίστοιχες καμπύλες βέλτιστου αποθέματος συναρτήσει του χρόνου προειδοποίησης για τα παραπάνω συστήματα παρίστανται συγκριτικά στο ακόλουθο

διάγραμμα, στο οποίο η επάνω γραφική παράσταση αναφέρεται σε πιθανότητα ακύρωσης  $\Pi=0.2$  ενώ η κάτω σε πιθανότητα  $\Pi=0.4$ .



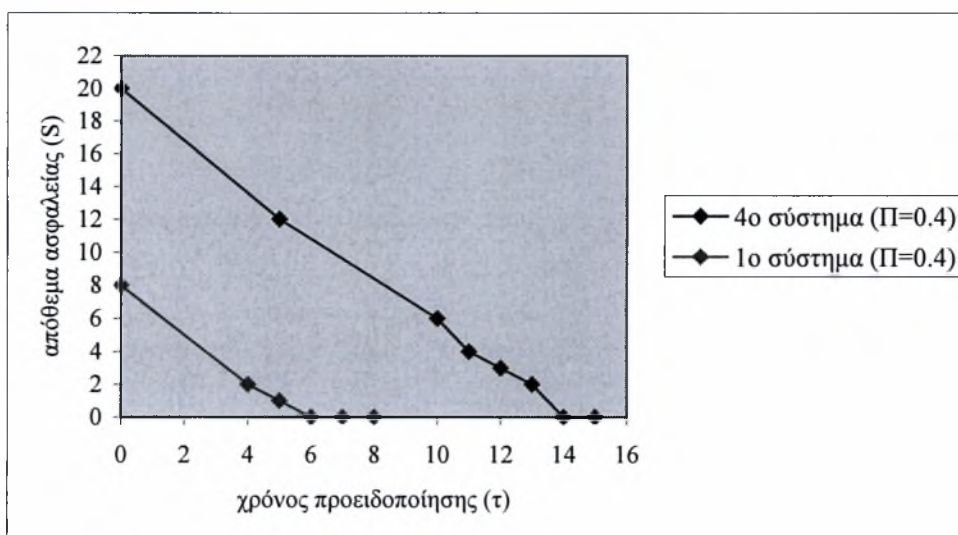
Διάγραμμα 5.1.13 : Συγκριτικά το τέταρτο σύστημα για  $\Pi=0.2$  και  $\Pi=0.4$

Τέλος συγκρίνοντας το τελευταίο σύστημα με αυτό της πρώτης περίπτωσης, έχουμε τα ακόλουθα διαγράμματα για τις δυο πιθανότητες ακύρωσης  $\Pi=0.2$  και  $\Pi=0.4$  αντίστοιχα. Οι επάνω καμπύλες αναφέρονται στο τέταρτο σύστημα ενώ οι κάτω στο πρώτο.



Διάγραμμα 5.1.14 : Συγκριτικά το πρώτο και το τέταρτο σύστημα για  $\Pi=0.2$





Διάγραμμα 5.1.15 : Συγκριτικά το πρώτο και το τέταρτο σύστημα για  $\Pi=0.4$

Στα τελευταία διαγράμματα φαίνεται καθαρά η μεγάλη αύξηση του βέλτιστου αποθέματος και του κρίσιμου χρόνου προειδοποίησης κατά την αύξηση των εισερχόμενων στο σύστημα ζητήσεων.

## 6.2 Γενικά συμπεράσματα

Η μελέτη των παραπάνω αποτελεσμάτων και διαγραμμάτων μεταβολής του βέλτιστου αποθέματος συναρτήσει του χρόνου προειδοποίησης οδηγεί στα ακόλουθα γενικά συμπεράσματα.

- Με την εισαγωγή του μηχανισμού ακύρωσης ζητήσεων, το βέλτιστο απόθεμα διατηρείται σταθερό ( $S^*=8$ ) και ίσο με αυτό του απλού συστήματος basestock (δηλαδή χωρίς ακύρωση των ζητήσεων), όταν ο χρόνος προειδοποίησης είναι μηδέν, ενώ ο βέλτιστος χρόνος προειδοποίησης μειώνεται ( $\tau^*=8$ ), σε σχέση με αυτόν του απλού συστήματος basestock. Επίσης παρατηρείται μια μικρή αύξηση στο συνολικό κόστος του συστήματος.
- Η αύξηση της πιθανότητας ακύρωσης των ζητήσεων έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κρίσιμου χρόνου προειδοποίησης και την αύξηση του συνολικού κόστους του συστήματος. Σε ότι αφορά στην τιμή του βέλτιστου αποθέματος για μηδενικό χρόνο προειδοποίησης αυτή παραμένει σταθερή.
- Η μεταβολή του βέλτιστου αποθέματος ασφάλειας έναντι του χρόνου προειδοποίησης είναι γραμμική για τις περισσότερες τιμές του  $\tau$ .



- Η μείωση του χρόνου επεξεργασίας σε οποιονδήποτε σταθμό εργασίας οδηγεί σε μείωση του βέλτιστου αποθέματος, του κρίσιμου χρόνου προειδοποίησης και του συνολικού κόστους του συστήματος.
- Η μείωση του μέσου χρόνου άφιξης των εισερχόμενων ζητήσεων ωθεί το σύστημα στη διατήρηση μεγαλύτερου αποθέματος ασφάλειας και στην αύξηση του κρίσιμου χρόνου προειδοποίησης. Επίσης οδηγεί σε μεγάλη αύξηση του συνολικού κόστους του συστήματος λόγω της αύξησης του μέσου χρόνου επεξεργασίας των τεμαχίων στη γραμμή παραγωγής.
- Όταν οι αφίξεις των ζητήσεων και οι ενάρξεις των εργασιών παραγωγής είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους (έστω και αν έχουν τον ίδιο μέσο όρο), τότε δεν επιτυγχάνονται συνθήκες μόνιμης κατάστασης και το σύστημα χαρακτηρίζεται μη εργοδικό.
- Κατά την εισαγωγή του μηχανισμού προθεσμίας επιβεβαίωσης της παραγγελιάς  $\delta$  και για  $\delta < \tau$ , μειώνεται ο κρίσιμος χρόνος προειδοποίησης ενώ το βέλτιστο απόθεμα για δεδομένο  $\tau$  παραμένει σταθερό. Επίσης μια μικρή αύξηση παρατηρείται στο συνολικό κόστος του συστήματος. Για  $\delta > \tau$  ο κρίσιμος χρόνος προειδοποίησης μειώνεται ακόμα περισσότερο. Στην οριακή περίπτωση όπου  $\delta = 0$  το σύστημα αυτό συμπίπτει με τα συστήματα, τα οποία εξετάσαμε στις προηγούμενες περιπτώσεις.

### 6.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η συμπεριφορά των συστημάτων που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, παρουσιάζει μεγάλο θεωρητικό ενδιαφέρον. Επίσης λόγω της πολυπλοκότητας των συστημάτων αυτών, προσφέρονται αρκετά θέματα για περαιτέρω μελέτη.

Μια ενδιαφέρουσα περίπτωση είναι η μελέτη των εν λόγω συστημάτων με περισσότερα στάδια παραγωγής καθώς επίσης και με διαφορετικούς χρόνους άφιξης των ζητήσεων και διαφορετικούς χρόνους κατεργασίας στους σταθμούς επεξεργασίας. Μια εξίσου ενδιαφέρουσα περίπτωση αποτελεί και η χρησιμοποίηση παρτίδων παραγωγής.

Επιπλέον θα μπορούσε να εξεταστεί η περίπτωση κατά την οποία ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης είναι μεταβλητός καθώς και η περίπτωση όπου στο σύστημα υπάρχει χρόνος προετοιμασίας των μηχανών και λαμβάνονται υπόψη τυχούσες βλάβες.

Τέλος θα μπορούσε να εξεταστεί η περίπτωση όπου οι πρώτες ύλες είναι περιορισμένες και η περίπτωση κατά την οποία η προθεσμία επιβεβαίωσης της παραγγελιάς και η πιθανότητα ακύρωσης είναι μεταβαλλόμενες.



---

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

---

**A. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Κατά τη διάρκεια συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα συγγράμματα.

1. Y. Dallery and G. Liberopoulos. Extended Kanban Control System: Combining Kanban and Basestock, *IIE Transactions on Design and Manufacturing*, Vol 32, No4, pp. 369-386, 2000
2. Liberopoulos G. and Y. Dallery. On the optimization of a single – stage generalized Kanban control system in manufacturing, *Proceedings of the INRIA/IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation*, Paris , pp 437-444, October 10-13, 1995
3. F. Karaesman and Y. Dallery. A Performance Comparison of Pull Type Control Mechanisms For Multi stage Manufacturing, *International Journal of Production Economics*, 63, 2000
4. Arena 3.0 Systems Modeling Corporation, Users Manual.
5. Α. Δώριζας. Η Σχέση Ανάμεσα στην Έγκαιρη Πληροφόρηση για την Ζήτηση και στο Απόθεμα Ασφαλείας, *Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*, 1999
6. Λυμπερόπουλος και Y. Dallery. Ένα Ενοποιημένο Πλαίσιο για τον χαρακτηρισμό Ελκυσόμενων Συστημάτων Ελέγχου της παραγωγής, *12<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο ΕΕΕΕ “Επιχείρηση και Νέες Τεχνολογίες : Σύγχρονα Εργαλεία Υποστήριξης, Διαχείρισης και Λειτουργίας”*, Σάμος , 6-8 Σεπτεμβρίου, 1998
7. Α.Τριαντάφυλλος. Βελτιστοποίηση Γενικευμένου Συστήματος Ελέγχου Παραγωγής KANBAN ενός Σταδίου, με Έγκαιρη Προειδοποίηση της ζήτησης, *Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*, 1998
8. Ι. Τσικής. Απόθεμα Ασφάλειας έναντι Χρόνου Ασφάλειας σε Συστήματα Παραγωγής-Αποθεμάτων Δυο Σταδίων με Προειδοποίηση της Ζήτησης, *Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*, 2000



---

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**

**ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ**

**ARENA**

---



Π=0.4    σ=expo(0.75)    κ=expo(1)    τ=0    L=0    S=9

ARENA Simulation Results  
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma  
Analyst: alexis dougekos

Run execution date : 7/28/2000  
Model revision date: 14/ 7/2000

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	.87695	.07123	.00000	25.967	239391
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.9476	.20662	.00000	51.006	239386
paradosi	9.5757	.62997	.00000	67.416	239391
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.9563	.18405	.00000	45.768	239391
dead Queue Time	.00000	.00000	.00000	.00000	160351
avedelay	.00000	.00000	.00000	.00000	239391
servers flow time	19.977	.64580	.42454	78.672	239386
Machine 2_R_Q Queue Ti	4.1330	.19078	.00000	45.138	239390
avedelayorder	.00000	.00000	.00000	.00000	239391
jack Queue Time	12.103	.62430	4.2621E-04	67.416	189402
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.9364	.26764	.00000	52.861	239387

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in dead	.00000	.00000	.00000	1.0000	.00000
# in bob	.69982	.05293	.00000	9.0000	4.0000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in Machine 4_R_Q	3.1500	.16003	.00000	46.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	3.1411	.18692	.00000	41.000	3.0000
# in jack	7.6411	.49504	.00000	64.000	.00000
# in Machine 2_R_Q	3.2980	.14679	.00000	47.000	.00000
Machine 4_R Busy	.79725	.00556	.00000	1.0000	.00000
# in Machine 1_R_Q	3.1570	.14930	.00000	38.000	.00000
Machine 3_R Busy	.79841	.00528	.00000	1.0000	1.0000
Machine 2_R Busy	.80033	.00430	.00000	1.0000	.00000
wipl	15.939	.53613	.00000	72.000	5.0000
Machine 1_R Busy	.79903	.00487	.00000	1.0000	1.0000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239391	Infinite
c2	239386	Infinite
cdead	160351	Infinite
c100	160351	Infinite
Depart 1_C	239391	Infinite
expo.2__C	399742	Infinite

Simulation run time: 1.57 minutes.  
Simulation run complete.



Π=0.2 σ=expo(1) κ=expo(1) τ=0 L=0 S=9

ARENA Simulation Results  
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date : 7/28/2000  
Analyst: alexis dougekos Model revision date: 14/ 7/2000

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	.85940	.04234	.00000	26.664	239858
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.9031	.19847	.00000	44.193	239850
paradosi	9.5185	.44753	.00000	65.677	239858
Machine 1_R_Q Queue Ti	4.0433	.15535	.00000	54.879	239856
dead Queue Time	.00000	.00000	.00000	.00000	60249
avedelay	.00000	.00000	.00000	.00000	239875
servers flow time	19.915	.44474	.51058	76.498	239849
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.9227	.18337	.00000	58.326	239855
avedelayorder	.00000	.00000	.00000	.00000	239875
jack Queue Time	11.989	.56327	5.7813E-04	65.677	190420
Machine 3_R_Q Queue Ti	4.0469	.20208	.00000	47.186	239853

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in dead	.00000	.00000	.00000	1.0000	.00000
# in bob	.68711	.03381	.00000	9.0000	.00000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in Machine 4_R_Q	3.1205	.15888	.00000	41.000	2.0000
# in Machine 3_R_Q	3.2355	.16422	.00000	41.000	2.0000
# in jack	7.6107	.36446	.00000	57.000	17.000
# in Machine 2_R_Q	3.1363	.14151	.00000	43.000	.00000
Machine 4_R Busy	.79655	.00396	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	3.2333	.13344	.00000	45.000	19.000
Machine 3_R Busy	.80027	.00421	.00000	1.0000	1.0000
Machine 2_R Busy	.79880	.00378	.00000	1.0000	.00000
wipl	15.926	.38259	.00000	66.000	25.000
Machine 1_R Busy	.80231	.00379	.00000	1.0000	1.0000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239875	Infinite
c2	239849	Infinite
cdead	60249	Infinite
c100	60249	Infinite
Depart 1_C	239858	Infinite
expo.2_C	300124	Infinite

Simulation run time: 1.45 minutes.  
Simulation run complete.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly  
08/12/2017 09:45:17 EET - 137.108.70.7



Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly  
08/12/2017 09:45:17 EET - 137.108.70.7

Π=0.4   σ=expo(0.75)   κ=erlang(0.5 , 2)   τ=4   L=4   S=0

ARENA Simulation Results  
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma  
Analyst: alexis dougekos

Run execution date : 8/18/2000  
Model revision date: 14/ 7/2000

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	.34904	.02080	.00000	17.935	239600
Machine 4_R_Q Queue Ti	2.1838	.08196	.00000	31.414	239601
paradosi	7.1934	.30588	.00000	44.824	239600
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.5254	.12624	.00000	38.431	239608
avedelay	9.7329E-17	1.3105E-16	.00000	1.4552E-11	239618
dead Queue Time	1.1946	.01155	2.3895E-06	12.143	159969
servers flow time	14.312	.30096	.83253	54.166	239600
Machine 2_R_Q Queue Ti	2.3600	.08810	.00000	27.496	239607
avedelayorder	4.0000	2.8715E-16	4.0000	4.0000	239612
Machine 3_R_Q Queue Ti	2.2460	.08882	.00000	29.692	239607
jack Queue Time	8.4082	.26705	2.1440E-05	44.824	204983

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in bob	.27876	.01514	.00000	8.0000	.00000
# in dead	.63701	.00689	.00000	9.0000	.00000
# in Machine 4_R_Q	1.7441	.06499	.00000	28.000	6.0000
# in Machine 3_R_Q	1.7939	.06550	.00000	26.000	.00000
# in Machine 2_R_Q	1.8849	.07548	.00000	24.000	.00000
# in jack	5.7453	.21477	.00000	42.000	12.000
# in Machine 1_R_Q	2.8159	.09037	.00000	36.000	10.000
Machine 4_R Busy	.79825	.00357	.00000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Busy	.79806	.00405	.00000	1.0000	.00000
wipl	11.430	.22740	.00000	48.000	18.000
Machine 2_R Busy	.79793	.00374	.00000	1.0000	.00000
Machine 1_R Busy	.79818	.00392	.00000	1.0000	1.0000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239618	Infinite
c2	239600	Infinite
cdead	159969	Infinite
c100	159969	Infinite
Depart 1_C	239600	Infinite
expo.2_C	399587	Infinite

Simulation run time: 1.63 minutes.  
Simulation run complete.







$\Pi=0.4$   $\sigma=\text{expo}(0.75)$   $\kappa1,3=\text{expo}(1)$   $\kappa2,4=\text{expo}(0.66)$   $\tau=5$   $L=\tau*=3$   $S=1$

ARENA Simulation Results  
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date : 8/20/2000  
Analyst: alexis dougekos Model revision date: 14/ 7/2000

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	.53165	.02491	.00000	20.089	239749
Machine 4_R_Q Queue Ti	.73916	.01275	.00000	15.047	239749
paradosi	6.6828	.31470	.00000	59.990	239749
Machine 1_R_Q Queue Ti	4.3312	.17454	.00000	38.553	239753
dead Queue Time	1.1556	.00963	2.8414E-07	12.164	160279
avedelay	2.0000	7.8638E-16	2.0000	2.0000	239755
servers flow time	13.180	.32420	.26662	69.518	239749
Machine 2_R_Q Queue Ti	.75811	.01515	.00000	16.007	239752
avedelayorder	5.0000	3.2104E-16	5.0000	5.0000	239749
jack Queue Time	8.3441	.30202	1.3617E-04	59.990	192016
Machine 3_R_Q Queue Ti	4.0327	.19110	.00000	55.824	239750

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in dead	.61742	.00561	.00000	9.0000	.00000
# in bob	.42488	.01676	.00000	9.0000	1.0000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in Machine 4_R_Q	.59071	.01139	.00000	15.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	3.2228	.13401	.00000	47.000	1.0000
# in jack	5.3407	.22133	.00000	48.000	.00000
# in Machine 2_R_Q	.60586	.01469	.00000	17.000	.00000
Machine 4_R Busy	.52800	.00218	.00000	1.0000	.00000
# in Machine 1_R_Q	3.4614	.12565	.00000	35.000	2.0000
Machine 3_R Busy	.80016	.00402	.00000	1.0000	1.0000
Machine 2_R Busy	.52661	.00322	.00000	1.0000	1.0000
wipl	10.533	.24016	.00000	56.000	5.0000
Machine 1_R Busy	.79790	.00492	.00000	1.0000	1.0000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239755	Infinite
c2	239749	Infinite
cdead	160279	Infinite
c100	160279	Infinite
Depart 1_C	239749	Infinite
expo.2_C	400035	Infinite

Simulation run time: 1.63 minutes.  
Simulation run complete.

$\Pi=0.2$   $\sigma=\text{expo}(1)$   $\kappa_{1,3}=\text{expo}(1)$   $\kappa_{2,4}=\text{expo}(0.66)$   $\tau=5$   $L=\tau*=4$   $S=0$

ARENA Simulation Results  
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date : 8/18/2000  
Analyst: alexis dougekos Model revision date: 14/ 7/2000

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	.20790	(Corr)	.00000	16.002	238828
Machine 4_R_Q Queue Ti	.73398	.02017	.00000	13.943	238828
paradosi	7.7234	.27183	.00000	55.289	238828
Machine 1_R_Q Queue Ti	4.1364	.16245	.00000	42.944	238835
dead Queue Time	1.2375	.01148	1.8225E-06	13.108	60141
avedelay	1.0000	6.6184E-17	1.0000	1.0000	238851
servers flow time	12.834	.27310	.13309	60.126	238828
Machine 2_R_Q Queue Ti	.75046	.01702	.00000	16.898	238832
avedelayorder	5.0000	3.0116E-16	5.0000	5.0000	238848
jack Queue Time	8.7270	.29636	4.7556E-05	55.289	211363
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.8933	.15856	.00000	44.872	238829

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in dead	.24810	.00268	.00000	7.0000	.00000
# in bob	.16551	.00762	.00000	7.0000	.00000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in Machine 4_R_Q	.58432	.01757	.00000	16.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	3.0995	.15033	.00000	39.000	2.0000
# in jack	6.1492	.23835	.00000	57.000	20.000
# in Machine 2_R_Q	.59745	.01333	.00000	15.000	2.0000
Machine 4_R Busy	.52514	.00383	.00000	1.0000	.00000
# in Machine 1_R_Q	3.2936	.11692	.00000	47.000	16.000
Machine 3_R Busy	.79535	.00464	.00000	1.0000	1.0000
Machine 2_R Busy	.52630	.00326	.00000	1.0000	1.0000
wipl	10.216	.25241	.00000	59.000	23.000
Machine 1_R Busy	.79666	.00480	.00000	1.0000	1.0000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	238851	Infinite
c2	238828	Infinite
cdead	60141	Infinite
c100	60141	Infinite
Depart 1_C	238828	Infinite
expo.2_C	298993	Infinite

Simulation run time: 1.20 minutes.  
Simulation run complete.

$\Pi=0.2$   $\sigma=\text{expo}(1)$   $\kappa1,3=\text{expo}(1)$   $\kappa2,4=\text{expo}(0.66)$   $\tau=5$   $L=\tau*=4$   $S=1$

ARENA Simulation Results  
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date : 8/18/2000  
Analyst: alexis dougekos Model revision date: 14/ 7/2000

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	.44271	(Corr)	.00000	19.866	238829
Machine 4_R_Q Queue Ti	.73398	.02017	.00000	13.943	238828
paradosi	6.7021	.26800	.00000	54.767	238829
Machine 1_R_Q Queue Ti	4.1364	.16245	.00000	42.944	238835
dead Queue Time	1.2375	.01148	1.8225E-06	13.108	60141
avedelay	1.0000	6.6184E-17	1.0000	1.0000	238851
servers flow time	12.834	.27310	.13309	60.126	238828
Machine 2_R_Q Queue Ti	.75046	.01702	.00000	16.898	238832
avedelayorder	5.0000	3.0116E-16	5.0000	5.0000	238848
jack Queue Time	8.2497	.26329	1.0635E-04	54.767	194027
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.8933	.15856	.00000	44.872	238829

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in dead	.24810	.00268	.00000	7.0000	.00000
# in bob	.35244	.01429	.00000	8.0000	.00000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in Machine 4_R_Q	.58432	.01757	.00000	16.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	3.0995	.15033	.00000	39.000	2.0000
# in jack	5.3361	.23349	.00000	56.000	19.000
# in Machine 2_R_Q	.59745	.01333	.00000	15.000	2.0000
Machine 4_R Busy	.52514	.00383	.00000	1.0000	.00000
# in Machine 1_R_Q	3.2936	.11692	.00000	47.000	16.000
Machine 3_R Busy	.79535	.00464	.00000	1.0000	1.0000
Machine 2_R Busy	.52630	.00326	.00000	1.0000	1.0000
wipl	10.216	.25241	.00000	59.000	23.000
Machine 1_R Busy	.79666	.00480	.00000	1.0000	1.0000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	238851	Infinite
c2	238828	Infinite
cdead	60141	Infinite
c100	60141	Infinite
Depart 1_C	238829	Infinite
expo.2_C	298993	Infinite

Simulation run time: 1.17 minutes.  
Simulation run complete.









$\Pi=0.2$   $\sigma=\text{expo}(0.88)$   $\kappa=\text{expo}(1)$   $\tau=10$   $L=10$   $S=7$

ARENA Simulation Results  
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date : 8/18/2000  
Analyst: alexis dougekos Model revision date: 14/ 7/2000

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	.74043	.10943	.00000	28.524	271625
Machine 4_R_Q Queue Ti	9.6833	.87009	.00000	96.127	271619
paradosi	22.589	1.9760	.00000	113.96	271625
Machine 1_R_Q Queue Ti	10.129	1.0545	.00000	93.108	271632
avedelay	4.7008E-16	5.8605E-16	.00000	2.9104E-11	271632
dead Queue Time	1.0950	.01046	3.7487E-05	11.407	68634
servers flow time	42.383	2.0230	1.0185	140.51	271618
Machine 2_R_Q Queue Ti	9.4885	.86466	.00000	96.927	271628
avedelayorder	10.000	9.0150E-16	10.000	10.000	271625
Machine 3_R_Q Queue Ti	9.0809	.70319	.00000	75.452	271623
jack Queue Time	26.034	2.2013	1.9110E-04	113.96	235678

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in bob	.67040	.10177	.00000	18.000	.00000
# in dead	.25053	.00309	.00000	7.0000	.00000
# in Machine 4_R_Q	8.7673	.86502	.00000	88.000	3.0000
# in Machine 3_R_Q	8.2219	.71619	.00000	72.000	4.0000
# in Machine 2_R_Q	8.5912	.66676	.00000	91.000	3.0000
# in jack	20.452	2.0419	.00000	106.00	.00000
# in Machine 1_R_Q	9.1717	.90295	.00000	94.000	.00000
Machine 4_R Busy	.90782	.00514	.00000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Busy	.90534	.00546	.00000	1.0000	1.0000
wipl	38.374	2.1524	.00000	127.00	15.000
Machine 2_R Busy	.90453	.00472	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.90477	.00588	.00000	1.0000	1.0000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	271632	Infinite
c2	271618	Infinite
cdead	68634	Infinite
c100	68634	Infinite
Depart 1_C	271625	Infinite
expo.2_C	340266	Infinite

Simulation run time: 1.32 minutes.  
Simulation run complete.

$\Pi=0.2$   $\sigma=\text{expo}(0.88)$   $\kappa=\text{expo}(1)$   $\tau=10$   $L=10$   $S=8$

ARENA Simulation Results  
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date : 8/18/2000  
Analyst: alexis dougekos Model revision date: 14/ 7/2000

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	.90626	.12963	.00000	31.288	271625
Machine 4_R_Q Queue Ti	9.6833	.87009	.00000	96.127	271619
paradosi	21.650	1.9641	.00000	112.77	271625
Machine 1_R_Q Queue Ti	10.129	1.0545	.00000	93.108	271632
avedelay	4.7008E-16	5.8605E-16	.00000	2.9104E-11	271632
dead Queue Time	1.0950	.01046	3.7487E-05	11.407	68634
servers flow time	42.383	2.0230	1.0185	140.51	271618
Machine 2_R_Q Queue Ti	9.4885	.86466	.00000	96.927	271628
avedelayorder	10.000	9.0150E-16	10.000	10.000	271625
Machine 3_R_Q Queue Ti	9.0809	.70319	.00000	75.452	271623
jack Queue Time	25.501	2.0158	1.6739E-04	112.77	230603

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in bob	.82055	.12018	.00000	19.000	1.0000
# in dead	.25053	.00309	.00000	7.0000	.00000
# in Machine 4_R_Q	8.7673	.86502	.00000	88.000	3.0000
# in Machine 3_R_Q	8.2219	.71619	.00000	72.000	4.0000
# in Machine 2_R_Q	8.5912	.66676	.00000	91.000	3.0000
# in jack	19.602	2.0270	.00000	105.00	.00000
# in Machine 1_R_Q	9.1717	.90295	.00000	94.000	.00000
Machine 4_R Busy	.90782	.00514	.00000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Busy	.90534	.00546	.00000	1.0000	1.0000
wipl	38.374	2.1524	.00000	127.00	15.000
Machine 2_R Busy	.90453	.00472	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.90477	.00588	.00000	1.0000	1.0000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	271632	Infinite
c2	271618	Infinite
cdead	68634	Infinite
c100	68634	Infinite
Depart 1_C	271625	Infinite
expo.2_C	340266	Infinite

Simulation run time: 1.32 minutes.  
Simulation run complete.



Π=0.2    δ=4    σ=expo(1)    κ=expo(1)    τ=9    L=9    S=1

ARENA Simulation Results  
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma

Analyst: alexis dougekos

Run execution date : 9/26/2000

Model revision date: 14/ 7/2000

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	.66559	.04073	.00000	20.987	240360
Machine 4_R_Q Queue Ti	4.0057	.19027	.00000	52.856	240360
paradosi	9.4000	.46862	.00000	74.483	240360
Machine 1_R_Q Queue Ti	4.3476	.18483	.00000	41.723	240375
dead Queue Time	1.2385	.01665	1.6705E-05	15.353	60165
avedelay	4.3149E-16	4.7537E-16	.00000	2.9104E-11	240375
servers flow time	20.544	.49324	.74915	84.675	240359
Machine 2_R_Q Queue Ti	4.1281	.21826	.00000	51.179	240373
avedelayorder	9.0000	2.8715E-16	9.0000	9.0000	240366
jack Queue Time	11.644	.55444	1.9290E-05	74.483	194024
Machine 3_R_Q Queue Ti	4.0548	.15490	.00000	54.279	240364

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in dead	.24839	.00388	.00000	6.0000	.00000
# in bob	.53327	.02899	.00000	12.000	.00000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in Machine 4_R_Q	3.2094	.16637	.00000	43.000	3.0000
# in Machine 3_R_Q	3.2489	.13224	.00000	56.000	8.0000
# in jack	7.5314	.42130	.00000	68.000	6.0000
# in Machine 2_R_Q	3.3076	.22101	.00000	39.000	2.0000
Machine 4_R Busy	.80076	.00392	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	3.4835	.12851	.00000	39.000	.00000
Machine 3_R Busy	.80203	.00438	.00000	1.0000	1.0000
Machine 2_R Busy	.80474	.00561	.00000	1.0000	1.0000
wipl	16.458	.46015	.00000	77.000	21.000
Machine 1_R Busy	.80333	.00369	.00000	1.0000	.00000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	240375	Infinite
c2	240359	Infinite
cdead	60165	Infinite
c100	60165	Infinite
Depart 1_C	240360	Infinite
expo.2_C	300540	Infinite

Simulation run time: 1.57 minutes.  
Simulation run complete.

```
Project:  diploma                                Run execution date :   9/26/2000
Analyst:  alexis dougekos                       Model revision date:  14/ 7/2000

Replication ended at time      : 300000.0
```

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	.16595	.01036	.00000	16.276	239851
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.9031	.19847	.00000	44.193	239850
paradosi	12.580	.44529	.00000	70.150	239851
Machine 1_R_Q Queue Ti	4.0433	.15535	.00000	54.879	239856
dead Queue Time	.00000	.00000	.00000	.00000	60249
avedelay	9.7306E-18	1.6239E-17	.00000	1.8190E-12	239875
servers flow time	19.915	.44474	.51058	76.498	239849
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.9227	.18337	.00000	58.326	239855
avedelayorder	5.0000	5.4859E-16	5.0000	5.0000	239871
jack Queue Time	13.565	.47476	3.7378E-04	70.150	222432
Machine 3 R_Q Queue Ti	4.0469	.20208	.00000	47.186	239853

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in dead	.00000	.00000	.00000	1.0000	.00000
# in bob	.13268	.00823	.00000	6.0000	.00000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in Machine 4_R_Q	3.1205	.15888	.00000	41.000	2.0000
# in Machine 3_R_Q	3.2355	.16422	.00000	41.000	2.0000
# in jack	10.058	.37008	.00000	60.000	20.000
# in Machine 2_R_Q	3.1363	.14151	.00000	43.000	.00000
Machine 4_R Busy	.79655	.00396	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	3.2333	.13344	.00000	45.000	19.000
Machine 3_R Busy	.80027	.00421	.00000	1.0000	1.0000
Machine 2_R Busy	.79880	.00378	.00000	1.0000	.00000
wipl	15.926	.38259	.00000	66.000	25.000
Machine 1_R Busy	.80231	.00379	.00000	1.0000	1.0000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

Identifier	Count	Limit
c1	239875	Infinite
c2	239849	Infinite
cdead	60249	Infinite
c100	60249	Infinite
Depart 1_C	239851	Infinite
expo.2 C	300124	Infinite

```
Simulation run time: 1.20 minutes.
Simulation run complete.
```

